电/动/机/修/理/技/术/丛/书

起重及冶金用电动机修理

牵引电动机修理

魏敏 夏元光 潘波 居志尧◎编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电动机修理技术丛书

- ◇ 低压三相异步电动机修理
- ◇ 三相高压交流电动机修理
- ◇ 直流电动机修理
- ◇ 常见特种用途三相异步电动机修理
- ◇ 电动机改装挖潜修理
- ◇ 单相电动机修理
- ◇ 起重及冶金用三相异步电动机修理
- ◇ 防爆防腐电动机修理
- ◇ 潜水电泵与泵用电动机修理
- ◇ 电机修理试验与性能分析
- ◆ **起重及冶金用电动机修理牵引电动机修理**

QIZHONG JI YEJINYONG DIANDONGJI XIULI
QIANYIN DIANDONGJI XIULI

策划编辑：李振标

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

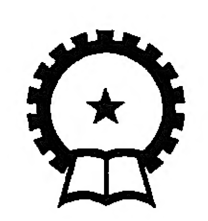
ISBN 978-7-111-35591-5
定价：68.00元

ISBN 978-7-111-35591-5
9 787111 355915 >

电动机修理技术丛书

起重及冶金用电动机修理 牵引电动机修理

魏 敏 夏元光 潘 波 居志尧 编著



机械工业出版社

本书内容包括两部分："起重及冶金用电动机修理"和"牵引电动机修理"。

随着我国起重及冶金用电动机和牵引电动机产业的迅猛发展，起重、冶金、牵引行业的专用电动机，采用了新设计、新工艺、新材料，不断推出新产品。为满足各设计院所、工矿企业及广大的修理行业的需求，以帮助了解该类电动机的结构、性能和技术数据，特编写本书。

本书汇集了起重、冶金、牵引行业常用电动机的结构特点、运行原理、常见故障及分析、选型知识、修理与试验、技术数据等内容，具有专业性、技术性、实用性强等特点，可供工矿企业从事电机运行维护和修理人员作为工具书使用；也可供有关专业院校师生、行业设计院所、主机厂的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

起重及冶金用电动机修理　牵引电动机修理/魏敏等编著. —北京：机械工业出版社，2011.9
（电动机修理技术丛书）
ISBN 978-7-111-35591-5

Ⅰ.①起…　Ⅱ.①魏…　Ⅲ.①电动机-维修②牵引电动机-维修　Ⅳ.①TM320.7②TM922.72

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第160163号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：李振标　责任编辑：李振标
版式设计：霍永明　责任校对：刘秀丽　张莉娟
责任印制：杨　曦
北京京丰印刷厂印刷
2012年1月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·30.75印张·686千字
0 001—3 000册
标准书号：ISBN 978-7-111-35591-5
定价：68.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203
网络服务
门户网：http：//www.cmpbook.com
教材网：http：//www.cmpedu.com

前 言

起重及冶金用电动机和牵引电动机是应用比较广泛的专用电动机。随着我国电机产业的迅猛发展、国家节能减排政策的出台，这两类电动机在新设计、新工艺、新材料方面不断推陈出新，电动机质量也越来越高，为了适应新形势的发展，要求从事电动机运行、维护和修理的人员以及设备管理人员，更好地了解电动机产品的结构特点、性能参数以及新工艺、新材料、新标准等要求。

本书汇总了这两类电动机的结构特点、运行原理、常见故障分析、选型知识、修理与试验、技术数据等内容，专业性、技术性和实用性强是本书的突出特点。

在“起重及冶金用电动机修理”中，第一章主要介绍了起重及冶金用电动机主要三大系列（绕线转子电动机、防爆电动机、变频电动机）的结构与特点，其中包括绕线转子电动机的更新换代的YZR3系列电动机、带制动器电动机及辊道变频电动机的结构特点；第二章主要介绍电动机选型的基本知识、使用和维护，重点介绍了起重及冶金用变频调速电动机的技术特点、控制方式、负载特性及带制动器电动机中制动器的工作原理及接线方式；第三章和第四章重点介绍常见故障分析及修理、试验。这两章是本书的核心部分，对起重及冶金用电动机在实际应用中的常见故障进行了总结和归纳，同时列出了切实可行的处理方法，特别是针对起重及冶金用电动机的绕组特点，详细地介绍了单绕组双速电动机的绕组排列方法及接线图，定子绕组的检修，定、转子绕组的重绕计算及集电环、刷握装置的故障与修理，起重及冶金用电动机的检查和试验；第五章主要介绍了常用标准，基本囊括了起重及冶金用电动机所有常用最新标准。附录A～L为电动机技术数据和外形及安装尺寸。

在“牵引电动机修理”中，第一章主要介绍了牵引电动机的分类、工作特点、安全使用工作极限条件、性能要求和工作特性等；第二章主要介绍工矿用直流牵引电动机的修理，其中包括整机机械故障和电气故障及修理（定子、电枢、换向器、刷握装置等故障及修理）；第三章主要介绍铁道干线用直流电动机的修理，其中包括定子结构故障及改进、轴承的烧损及其防止、换向器环火故障及其防止、整机检修的主要工艺过程和日常维护、保养等；第四章主要介绍蓄电池车辆用直流电动机系列和使用特点；第五章主要介绍铁道干线用三相异步电动机的使用特点；第六章主要介绍牵引电动机的检查试验，其中包括试验项目、要求及原理线路等。

本书内容是作者多年从事技术工作的总结，因而专业性强、技术全面；同时笔者通过多年与电机运行和维修人员、各设计院所的设计人员的沟通与交流，了解了他们的需求与愿望，因而实用性强、希望本书的出版能对他们的工作有所裨益。

在本书的编写过程中，得到了同行和前辈的指导和帮助，提出许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢！

本书分两部分。在“起重及冶金用电动机修理”中，第一～三章以及附录Ⅰ～L由魏敏撰写，第四章由夏元光撰写，第五章及附录A～H由潘波撰写。“牵引电动机修理”部分由居志尧撰写。

由于笔者水平有限，难免有疏漏、错误之处，恳切希望广大读者提出批评指正。

作　者

2011年1月

目　录

牵引电动机修理

起重及冶金用电动机修理

第一章　起重及冶金用电动机的结构

第一节　概　　述

一、起重及冶金用电动机的概况

起重冶金电动机通常是指 YZ、YZR 系列电动机为基本系列及其派生系列，主要用以拖动起重机械和类似设备。

目前佳木斯防爆电机研究所（以下简称佳木斯所）是行业归口所和国家起重及冶金用电动机质量监督检验及检验试验单位。

20 世纪 50 年代，佳木斯电机厂开始生产从前苏联引进的 MT 起重电动机。随后国内也有部分厂家开始生产。60 年代由佳木斯所和佳木斯电机厂组织了全国统一设计，型号定为 JZ、JZR；70 年代初又组织了全国统一设计，型号定为 YZ、YZR；80 年代对 YZ、YZR 进行了改版；90 年代初进行了第二次统一设计，型号定为 YZ2、YZR2；2006 年 7 月又对第三次全国统一设计的 YZR3 进行全国行业鉴定，并开始投放市场。

目前我国最大的高压绕线转子电动机为 YZR630-8、400kW；我国最大的低压绕线转子电动机为 YZR500-8、600kW；我国最大的辊道用变频调速三相异步电动机为 YGP450；我国最大的低压大功率变频调速电动机为 YPT710-6、3200kW。我国最大的隔爆型低压大功率变频调速三相异步电动机为 YBPT630、1200kW-4P、Exd Ⅱ CT4。

二、常用起重及冶金用电动机的分类

常用起重及冶金用电动机按结构分为四类：

（1）起重及冶金用三相异步电动机及派生系列；

（2）起重及冶金用绕线转子三相异步电动机及派生系列；

（3）起重冶金用防爆电动机及派生系列；

（4）起重及冶金用变频调速三相异步电动机及派生系列。

三、起重及冶金用电动机的型号与主要系列

起重及冶金用三相异步电动机根据年代可划为 3 个基本系列：

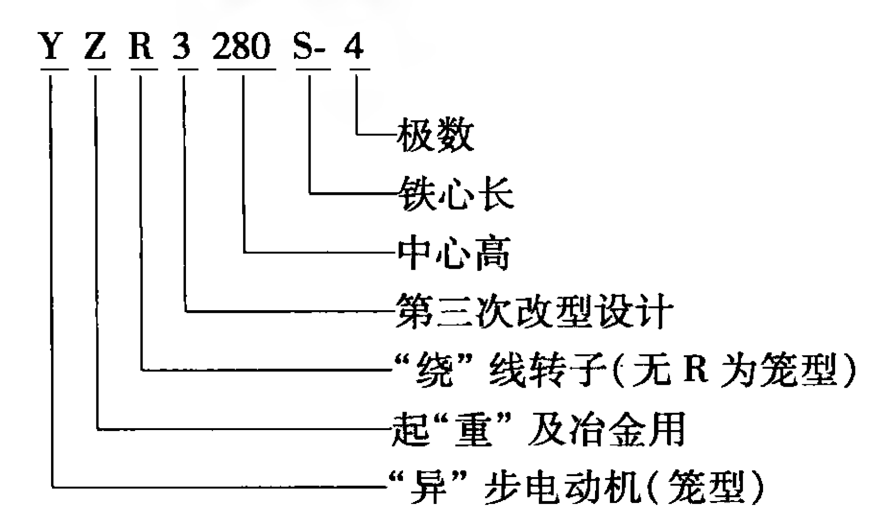
老产品：JZ2、JZR2（20 世纪 80 年代之前）

现代产品：YZ、YZR（1980～1996 年）

换代产品：YZ2、YZR2（1996 年之后）；YZR3（2006 年之后）

（一）型号的含义

例如：



(二) 派生的种类

1. YZ 系列电动机派生种类

YBZ 系列起重及冶金用隔爆型三相异步电动机

YBZS 系列起重及冶金用隔爆型双速三相异步电动机

YBZE 起重及冶金用隔爆型电磁制动三相异步电动机

YBZSE 起重及冶金用隔爆型双速电磁制动三相异步电动机

YZE 系列起重及冶金用电磁制动三相异步电动机

YZD 系列起重及冶金用多速三相异步电动机

YZDE 系列起重及冶金用多速电磁制动三相异步电动机

YZP 系列起重及冶金用变频调速三相异步电动机

YBZP 系列起重及冶金用隔爆型变频调速三相异步电动机

YBZPE 系列起重及冶金用隔爆型变频调速电磁制动三相异步电动机

2. YZR 系列电动机派生种类

YZRE 系列起重及冶金用绕线转子电磁制动三相异步电动机

YZRS 系列起重及冶金用绕线转子双速三相异步电动机

YZR 系列起重及冶金用中型高压绕线转子三相异步电动机

YZRW 系列起重及冶金用涡流制动三相异步电动机

YZRG、YZRF 系列起重及冶金用强迫通风型绕线转子三相异步电动机

YZR-Z 系列起重专用绕线转子三相异步电动机

YZR-C 系列起重及冶金用绕线转子带超速开关三相异步电动机

(三) 电动机型号中字母含义

B—隔“爆”型

D—“多”速

H—“H”级绝缘

G—“管”道通风

P—变“频”

S—“双”速

W—“涡”流制动

E—“电”磁制动
F—自带“风”机强迫通风或“粉”尘式
Z—高起动“转”矩

第二节 起重及冶金用电动机的基本结构与主要特点

一、起重及冶金用电动机的总体结构（见图 1-1）

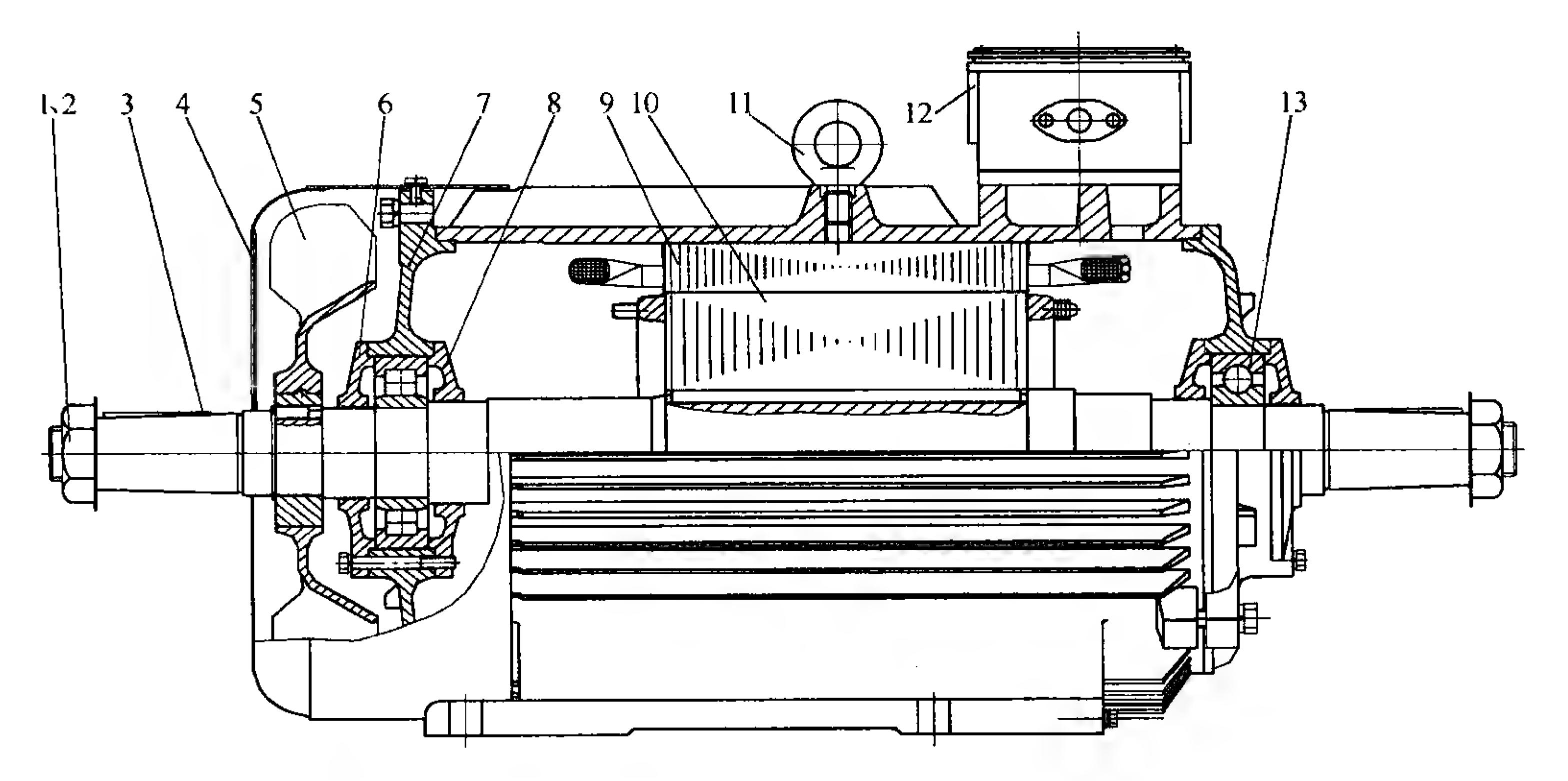


图 1-1 YZ 系列电动机结构示意（IC411）

1—螺母 2—垫圈 3—键 4—风罩 5—风扇 6—轴承外盖 7—端盖 8—轴承内盖 9—定子 10—转子 11—吊环 12—接线盒 13—轴承

二、起重及冶金用电动机的适用范围及特点

1. 适用范围

起重及冶金电动机具有较大的过载能力和较高的机械强度，可频繁地起动及逆转，频繁地机械振动及冲击。其绝缘等级分为 F 级和 H 级两种。F 级适用于冷却介质温度不超过 40℃ 的一般场所；H 级适用于冷却介质温度不超过 60℃ 的冶金场所，两种电动机具有相同的参数。冷却方式为 IC410（H112 ~ H132）、IC411（H160 ~ H400）。电动机的基准工作制为 S3-40%，6 次/h。其系列型谱见表 1-1，技术参数及外形安装尺寸见附录 B。

2. 特点

（1）电动机的绝缘等级　通常为 F 级或 H 级，两种绝缘结构的技术参数相同，只是温升限值不同，空气间接冷却绕组的温升限值：当电动机运行地点海拔不超过 1000m、最高环境温度不超过 40℃ 为基础时，B 级绝缘为 80K，F 级绝缘为 105K；最高环境温度不超过 60℃ 为基础时，H 级绝缘为 105K。

表 1-1　起重及冶金电动机系列型谱

工作制	S2				S3/(6 次/h)									
负载持续率	30min		60min		15%		25%		40%		60%		100%	
功率/kW \ 转速/(r/min)	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750
YZ112M	1.8	—	1.5	—	2.2	—	1.8	—	1.5	—	1.1	—	0.8	—
YZ132M1	2.5	—	2.2	—	3	—	2.5	—	2.2	—	1.8	—	1.5	—
YZ132M2	4	—	3.7	—	5	—	4	—	3.7	—	3	—	2.5	—
YZ160M1	6.3	—	5.5	—	7.5	—	6.3	—	5.5	—	5	—	4	—
YZ160M2	8.5	—	7.5	—	11	—	8.5	—	7.5	—	6.3	—	5.5	—
YZ160L	15	9	—	7.5	15	11	—	9	11	7.5	9	6	7.5	5
YZ180L	—	13	—	11	—	15	—	13	—	11	—	9	—	7.5
YZ200L	—	18.5	—	15	—	22	—	18.5	—	15	—	13	—	11
YZ225M	—	26	—	22	—	33	—	26	—	22	—	18.5	—	17
YZ250M1	—	35	—	30	—	42	—	35	—	30	—	26	—	22

（2）轴承允许的温度　不超过 95℃。

（3）电压及频率　额定电压为 380V，额定频率为 50Hz，允许电压偏差为 ±5%，允许频率偏差为 ±1%。

（4）外壳防护等级　IP54、IP55。

（5）该产品常用的冷却方式

1）IC410 电动机不带风扇，自然冷却；

2）IC411 电动机自带风扇，自扇冷却。

（6）性能参数值的容差

1）电动机的最大转矩　转矩保证值的 -10%。

2）转差率　功率小于 1kW 时，转差率保证值 ±30%；功率大于 1kW 时，转差率保证值 ±20%，转差率 $s=(n_0-n_N)/n_0\times100\%$（$n_0$—同步转速；$n_N$—额定转速）。

3）转动惯量　保证值的 ±10%。

（7）接线方式　Y联结。

（8）电缆引入装置　橡套电缆或钢管布线，供选择。

（9）热保护　绕组可埋置 Pt100（热电阻）或 PTC（正温度系数）热敏电阻，供选择。

（10）电动机可根据需要安装编码器及超速开关等测速元件。

三、起重及冶金用电动机派生产品型号、结构及特点（见表 1-2）

表 1-2　起重及冶金用电动机派生产品型号、结构及特点

型号	YZE	YZD	YZDE
结构	封闭式，铸铁外壳有散热筋，外风扇吹冷，笼型转子，电动机带电磁制动器，用于起重及冶金辅助机械	封闭式，铸铁外壳有散热筋，外风扇吹冷，笼型转子，用于起重及冶金辅助机械	封闭式，铸铁外壳有散热筋，外风扇吹冷，笼型转子，电动机带电磁制动器，用于起重及冶金辅助机械

（续）

型号	YZE	YZD	YZDE
特点	产品用于驱动各种起重机械及其类似设备专用产品。具备自制动功能、起重机械抱闸作用，适用于短时工作制和断续周期工作制	变极调速产品，该类产品大多用于军工场所，具有较高的过载能力和机械强度，同时可简化起重机械减速机构。可获得较稳定的低速运行，准确到位，安全可靠	产品用于驱动各种起重机械及其类似设备专用产品。具备自制动功能、起重机械抱闸作用，又可简化起重机械减速机构。可获得较稳定的低速运行，准确到位，安全可靠

第三节　起重及冶金用绕线转子电动机的基本结构与主要特点

一、起重及冶金用绕线转子电动机的总体结构（见图 1-2）

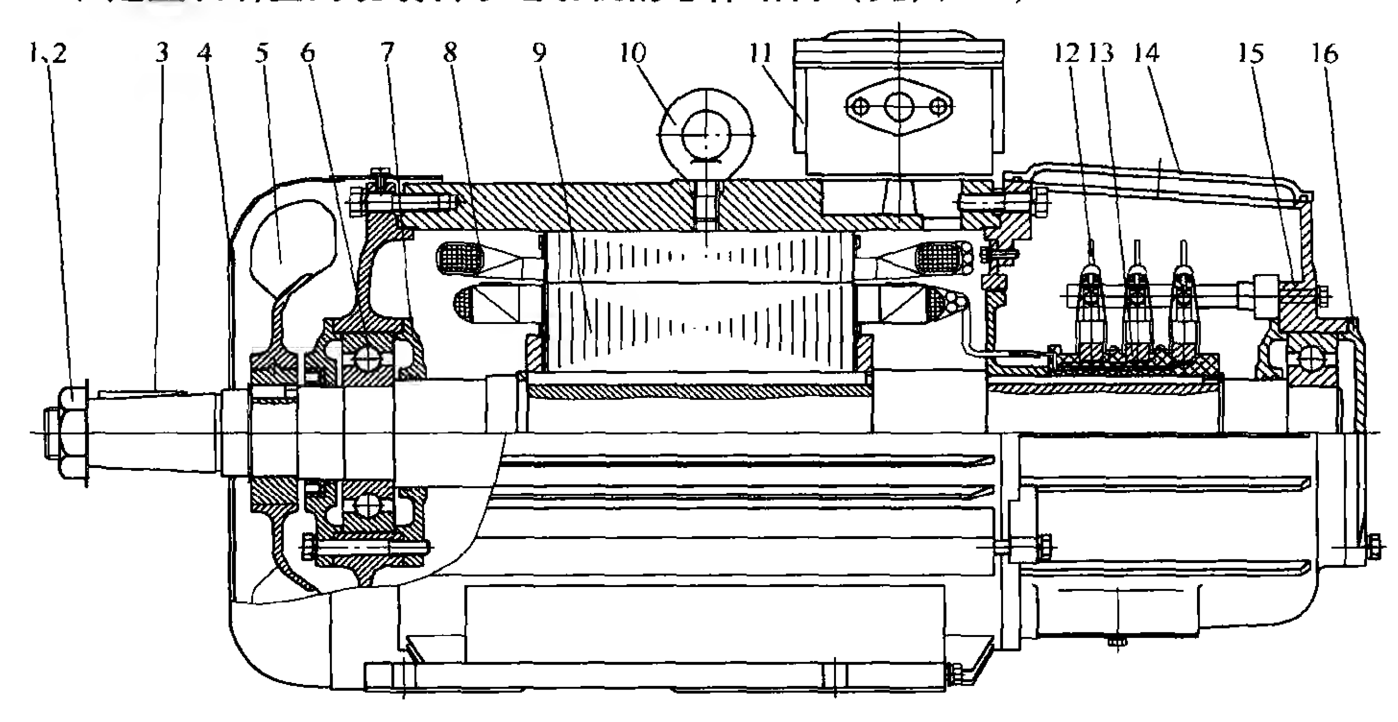


图 1-2　YZR 系列电动机结构示意图（IC411）

1—螺母　2—垫圈　3—键　4—风罩　5—风扇　6—轴承　7—轴承内盖　8—定子　9—转子　10—吊环　11—接线盒　12—刷握　13—集电环　14—观察窗盖　15—端盖　16—轴承外盖

二、起重及冶金用绕线转子电动机的适用范围及特点

1. 适用范围

YZR 系列起重及冶金用绕线转子三相异步电动机（机座号 112～400），主要应用于各种型式的起重机械及冶金辅助设备的电气传动。电动机起动时，转子必须串入附加电阻或电抗，以限制起动电流的平均值不超过各种工作制的额定电流的 2 倍。防护等级为 IP44、IP54，冷却方式在机座号 112～132 时为 IC410（自然冷却方式）、在机座号 160～400 时为 IC411（自带风扇冷却方式），绝缘等级分为 F 级、H 级两种，安装方式为 IMB3、IMB5、IMV1，基准工作制为 S3-40%。这种结构的电动机是通过机座外壳自然冷却或风扇吹拂机座外壳以达到冷却的目的。其系列型谱见表 1-3，技术参数及外形安装尺寸见附录 B。

表 1-3　YZR 系列型谱

工作制	S2						S3/(6 次/h)														
负载持续率	30min			60min			15%			25%			40%			60%			100%		
型号 \ 功率/kW \ 转速/(r/min)	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600
YZR 112M	1.8			1.5			2.2			1.8			1.5			1.1			0.8		
YZR 132M1	2.5			2.2			3			2.5			2.2			1.8			1.5		
YZR 132M2	4			3.7			5			4			3.7			3			2.5		
YZR 160M1	6.3			5.5			7.5			6.3			5.5			5			4		
YZR 160M2	8.5			7.5			11			8.5			7.5			6.3			5.5		
YZR 160L	13	9		11	7.5		15	11		13	9		11	7.5		9	6		7.5	5	
YZR 180L	17	13		15	11		20	15		17	13		15	11		13	9		11	7.5	
YZR 200L	26	18.5		22	15		33	22		26	18.5		22	15		19	13		17	11	
YZR 225M	34	26		30	22		40	33		34	26		30	22		26	18.5		22	17	
YZR 250M1	42	35		37	30		50	42		42	35		37	30		32	26		28	22	
YZR 250M2	52	42		45	37		63	52		52	42		45	37		39	32		33	27	
YZR 280S	63	52	42	55	45	37	75	60	55	63	52	42	55	45	37	48	38	32	40	34	27
YZR 280M	85	63	55	75	55	45	100	75	63	85	63	55	75	55	45	63	48	37	50	40	33
YZR 315S		85	63		75	55		100	75		85	63		75	55		63	48		55	40
YZR 315M		100	85		90	75		125	100		100	85		90	75		75	55		63	50
YZR 355M			110			90			132			110			90			75			63
YZR 355L1			132			110			160			132			110			90			75
YZR 355L2			150			132			185			150			132			110			90
YZR 400L1			190			160			236			190			160			135			110
YZR 400L2			240			200			270			240			200			177			145

（续）

工作制	S4及S5																	
	150次/h									300次/h						600次/h		
负载持续率	25%			40%			60%			40%			60%			60%		
转速/(r/min) 功率/kW 型号	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600
YZR 112M	1.6			1.3			1			1.2			0.9			0.7		
YZR 132M1	2.2			2			1.7			1.8			1.6			1.35		
YZR 132M2	3.7			3.5			2.8			3.3			2.8			2.3		
YZR 160M1	5.8			5			4.8			4.8			4.5			3.8		
YZR 160M2	7.5			7			6			6			5.5			4		
YZR 160L	11	7.5		10	7		8	5.8		8	6		7.5	5.5		5.6	3.8	
YZR 180L	15	11		13	10		12	8		12	8		11	7.5		9	5.8	
YZR 200L	21	15		18.5	13		17	12		17	12		15	11		11	8	
YZR 225M	28	21		25	18.5		22	17		22	17		20	15		15	11	
YZR 250M1	33	29		30	25		28	22		26	22		25	20		17.5	15	
YZR 250M2	42	33		37	30		33	28		31	26		30	25		24	18.5	
YZR 280S	52	42	33	45	37	30	42	33	28	40	31	26	37	30	25	30	24	17
YZR 280M	70	52	42	62	45	37	55	42	33	52	42	31	47	37	28	37	30	22
YZR 315S		64	50		60	45		56	42		52	40		48	37		35	30
YZR 315M		75	65		72	60		65	55		60	50		55	48		41	37
YZR 355M			80			72			65			60			55			41
YZR 355L1			100			90			80			75			70			50
YZR 355L2			120			110			95			90			80			60
YZR 400L1			145			132			120			110			96			75
YZR 400L2			185			165			150			140			120			95

2. 特点

（1）电动机的绝缘等级　通常为F级或H级，两种绝缘结构的技术参数相同，只是温升限值不同，空气间接冷却绕组的温升限值：当电动机运行地点海拔不超过1000m，最高环境温度不超过40℃为基础时，B级绝缘为80K，F级绝缘为105K；最高环境温度不超过60℃，为基础时，H级绝缘为105K。

（2）轴承允许的温度　不超过95℃。

（3）电压及频率　额定电压为380V，额定频率为50Hz，允许电压偏差为±5%，允许频率偏差为±1%。

（4）外壳防护等级　IP54、IP55。

（5）该产品常用的冷却方式

1）IC410电动机不带风扇，自然冷却；

2）IC411电动机自带风扇，自扇冷却。

（6）性能参数值的容差

1）电动机的最大转矩　转矩保证值的－10%。

2）转差率　功率小于1kW时，转差率保证值为±30%；功率大于1kW时，转差率保证值为±20%，转差率 $s=(n_0-n_N)/n_N\times100\%$ （n_0—同步转速；n_N—额定转速）。

3）转动惯量　保证值的±10%。

（7）接线方式　△接、Y接。

（8）电缆引入装置　橡套电缆或钢管布线，供选择。

（9）热保护　绕组可埋置Pt100热电阻或PTC热敏电阻，供选择。

（10）电动机可根据需要安装编码器及超速开关等测速元件。

（11）电动机的安装结构型式见表1-4。

表1-4　电动机的安装结构型式

结构及安装型式	代　号	制造范围（机座号）	备　注
	IM1001	112～160	圆柱轴伸
	IM1003	180～400	锥形轴伸
	IM1002	112～160	圆柱轴伸
	IM1004	180～400	锥形轴伸
	IM3001	112～160	圆柱轴伸
	IM3003	180	锥形轴伸

（续）

结构及安装型式	代　　号	制造范围（机座号）	备　　注
	IM3011	112～160	圆柱轴伸
	IM3013	180～315	锥形轴伸

（12）电动机的轴伸可以按用户提出的尺寸或要求制造。

（13）传动方式　电动机采用联轴器或正齿轮传动，若采用正齿轮传动时，其齿轮节圆直径应不小于轴伸直径。

（14）电动机轴伸的轴向窜动量　机座号 100～180 不大于 1mm，机座号 200～400 不大于 2mm。

（15）电动机上的各紧固螺栓都有防松措施。

（16）电动机的轴承选用见表 1-5。

表 1-5　电动机轴承型号

机　座　号	IM1		IM3	
	负载端	非负载端	负载端	非负载端
112	6308	6308	6308	6308
132	6309	6309	6309	6309
160	6311	6311	6311	6311
180	6313	6313	6313	6313
200	NU315	6315	NU315	7315ACJ
225	NU315	6315	NU315	7315ACJ
250	NU315	6316	NU316	7316ACJ
280	NU320	6320	NU320	7320ACJ
315	NU322	6322	NU322	7322ACJ
355	NU326	6326		
400	6330	NU330		

（17）电刷尺寸及集电环外径见表 1-6。

表 1-6　电刷及集电环尺寸

机座号	电刷尺寸/mm	集电环外径/mm	机座号	电刷尺寸/mm	集电环外径/mm
112	20×8×32	100	250	40×12.5×50	160
132		100	280	40×20×60	200
160	25×10×40	112	315		225
180		125	355	50×20×60	250
200	32×12.5×50	140	400	2(40×20×60)	250
225		140			

三、典型派生产品的型号、结构及特点（见表1-7）

表1-7　派生产品的型号、结构及特点

电机型号	YZRE	YZRW	YZRG	YZRF	YZR-Z	YZR-C
结构	见图1-3	见图1-4	见图1-5	见图1-6	见图1-2	见图1-7
特点	该产品用于驱动各种起重机械及其类似设备专用产品。具备自制动功能，起重机械抱闸作用，适用于短时工作制和断续周期工作制	YZRW系列电动机（机座号112～280）是一种调速电动机，主要应用于各种型式起重机械电气传动的调速。安装方式为IMB3、IMV1，电动机的基准工作制为S3-40%，涡流制动器的基准工作制为S3-15%。在YZR系列电动机非轴伸端安装涡流制动器	YZRG系列电动机（机座号250～400）是YZR系列电动机的派生产品，防护等级为IP23，冷却方式为IC17，绝缘等级为F级、H级，安装方式为IMB3，基准工作制为S1，这种结构的电动机是通过从室外采风流经电动机内腔，以达到冷却目的	YZRF系列电动机（机座号250～400）是YZR系列电动机的派生产品，防护等级为IP23，冷却方式为IC15，安装方式为IMB3，基准工作制为S1。这种结构的电动机是通过从背包风机采风流经电动机内腔，以达到冷却目的	YZR-Z系列起重专用绕线转子三相异步电动机（机座号112～355）是YZR系列电动机的派生产品，主要应用于最大转矩要求较高、每小时起动次数要求较少的起重机械及类似设备的电气传动。基准工作制为S3-25%，其总体结构、安装方式与YZR系列电动机基本相同	YZR-C系列起重及冶金用绕线转子带超速开关的三相异步电动机（机座号112～400）主要应用于对转速范围有控制要求的起重机械及类似设备的电气传动。其安装方式、工作制均与YZR系列电动机相同，结构上是在YZR系列电动机非轴伸端安装超速开关

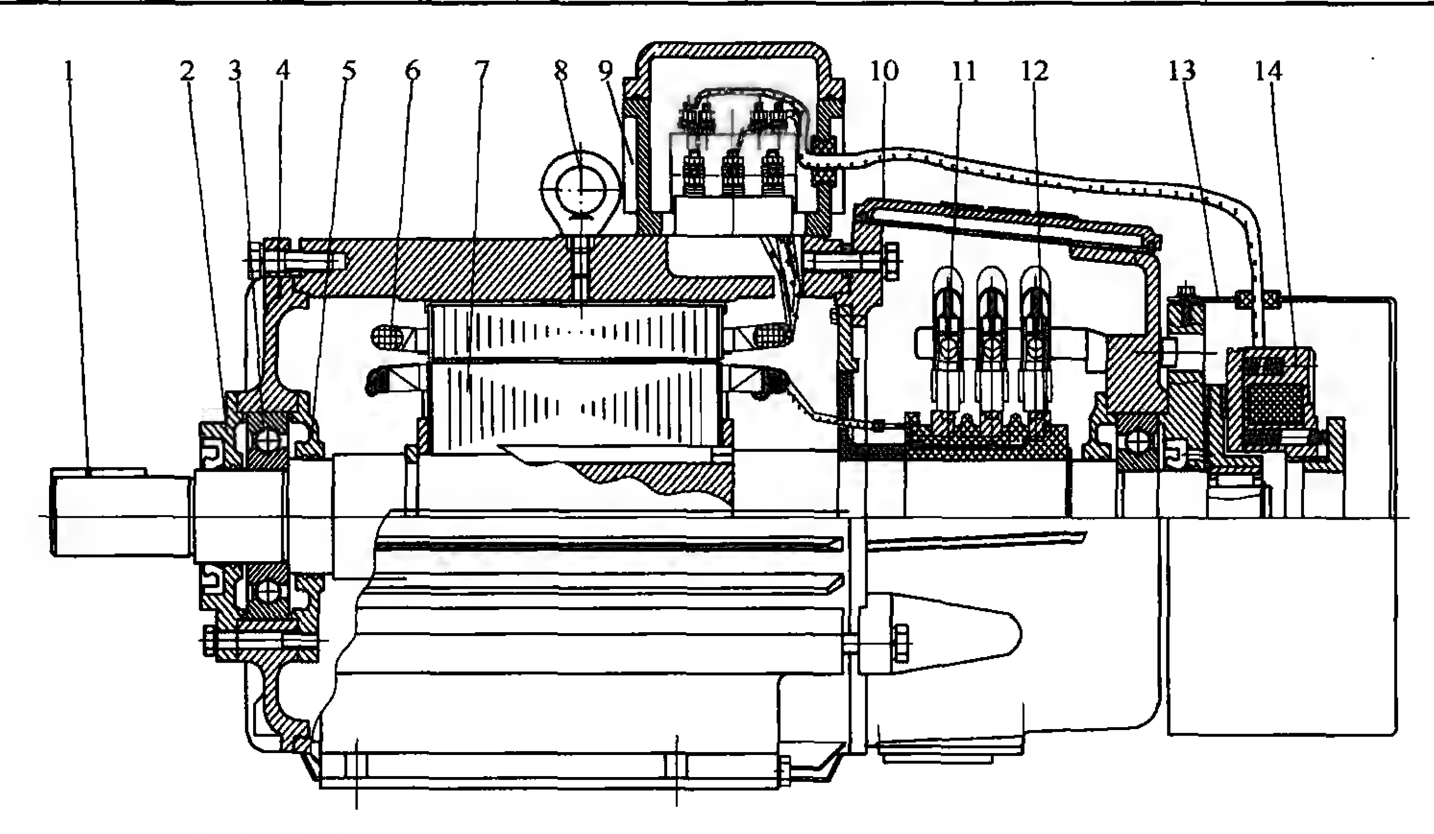


图1-3　YZRE系列电动机结构示意图（IC410）

1—键　2—轴承外盖　3—轴承　4—端盖　5—轴承内盖　6—定子　7—转子　8—吊环　9—接线盒　10—观察窗盖　11—刷握　12—集电环　13—防护罩　14—制动器

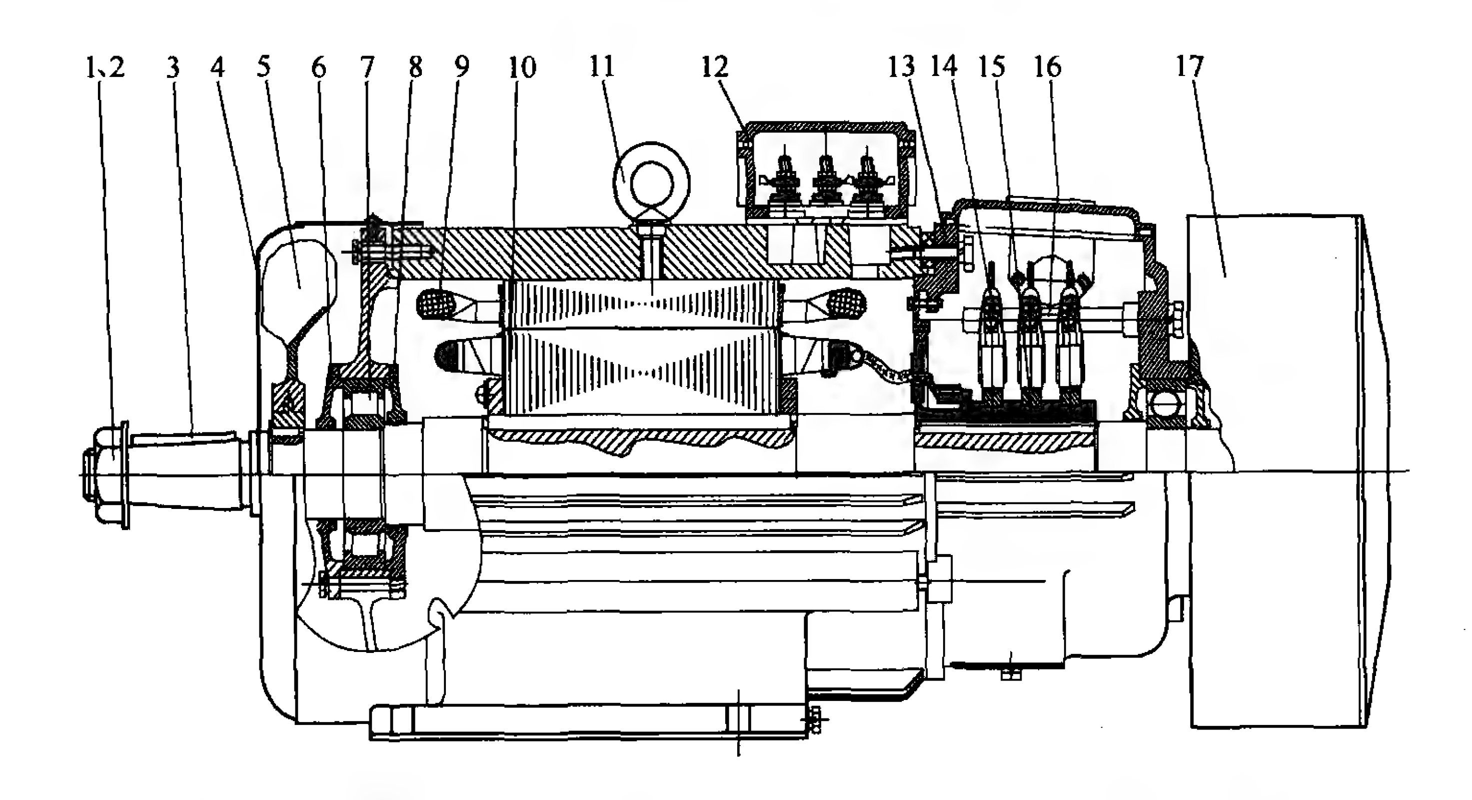


图 1-4 YZRW 系列电动机结构示意图（IC411）

1—螺母 2—垫圈 3—键 4—风罩 5—风扇 6—轴承外盖 7—轴承 8—轴承内盖 9—定子 10—转子 11—吊环 12—接线盒 13—端盖 14—刷握 15—集电环 16—观察窗盖 17—涡流制动器

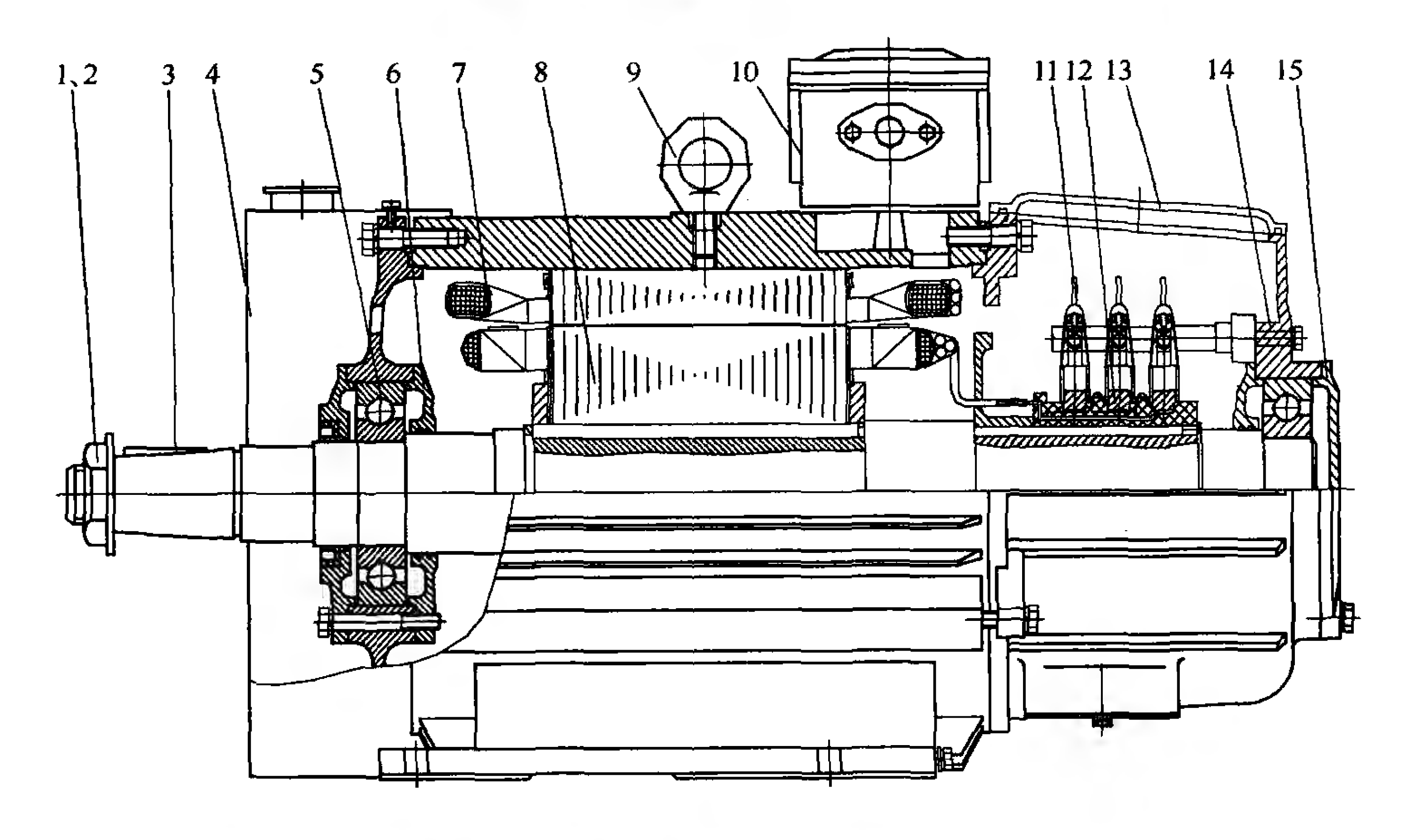


图 1-5 YZRG 系列电动机结构示意图（IC17）

1—螺母 2—垫圈 3—键 4—风罩 5—轴承 6—轴承内盖 7—定子 8—转子 9—吊环 10—接线盒 11—刷握 12—集电环 13—观察窗盖 14—端盖 15—轴承外盖

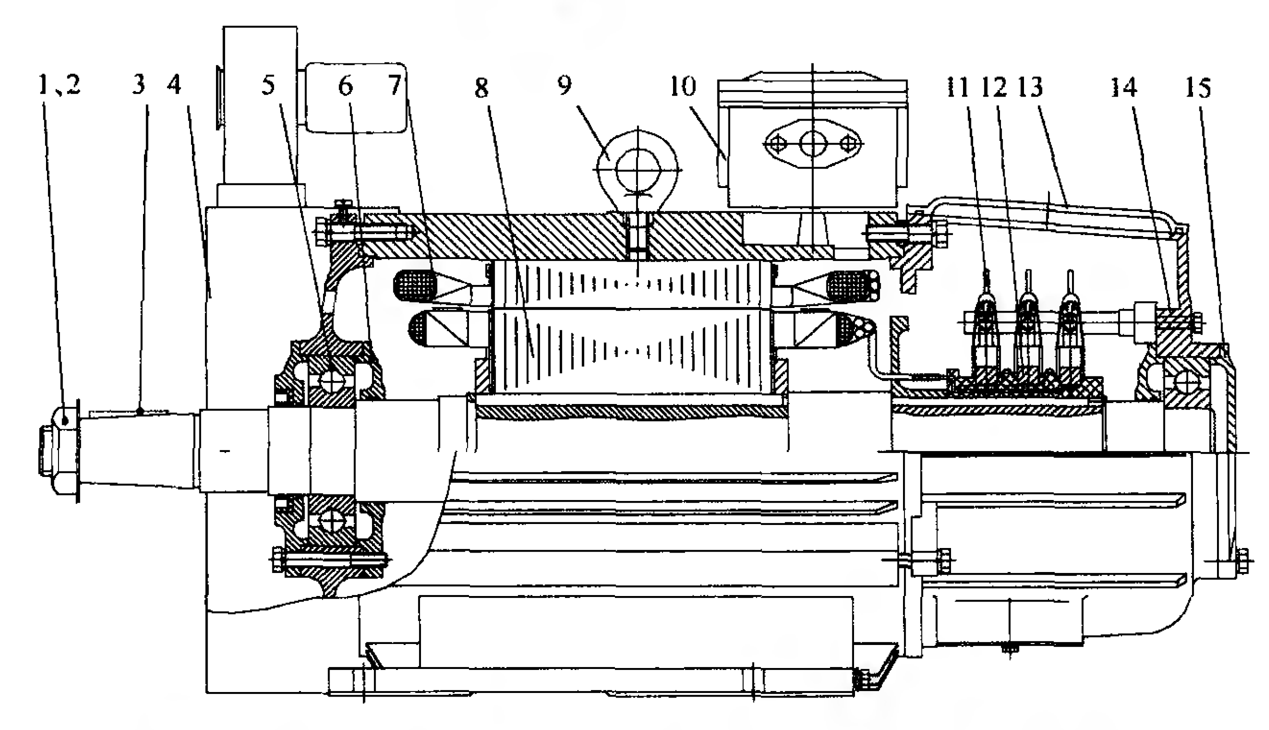


图 1-6　YZRF 系列电动机结构示意图（IC15）
1—螺母　2—垫圈　3—键　4—背包风机　5—轴承　6—轴承内盖　7—定子
8—转子　9—吊环　10—接线盒　11—刷握　12—集电环　13—观察窗盖
14—端盖　15—轴承外盖

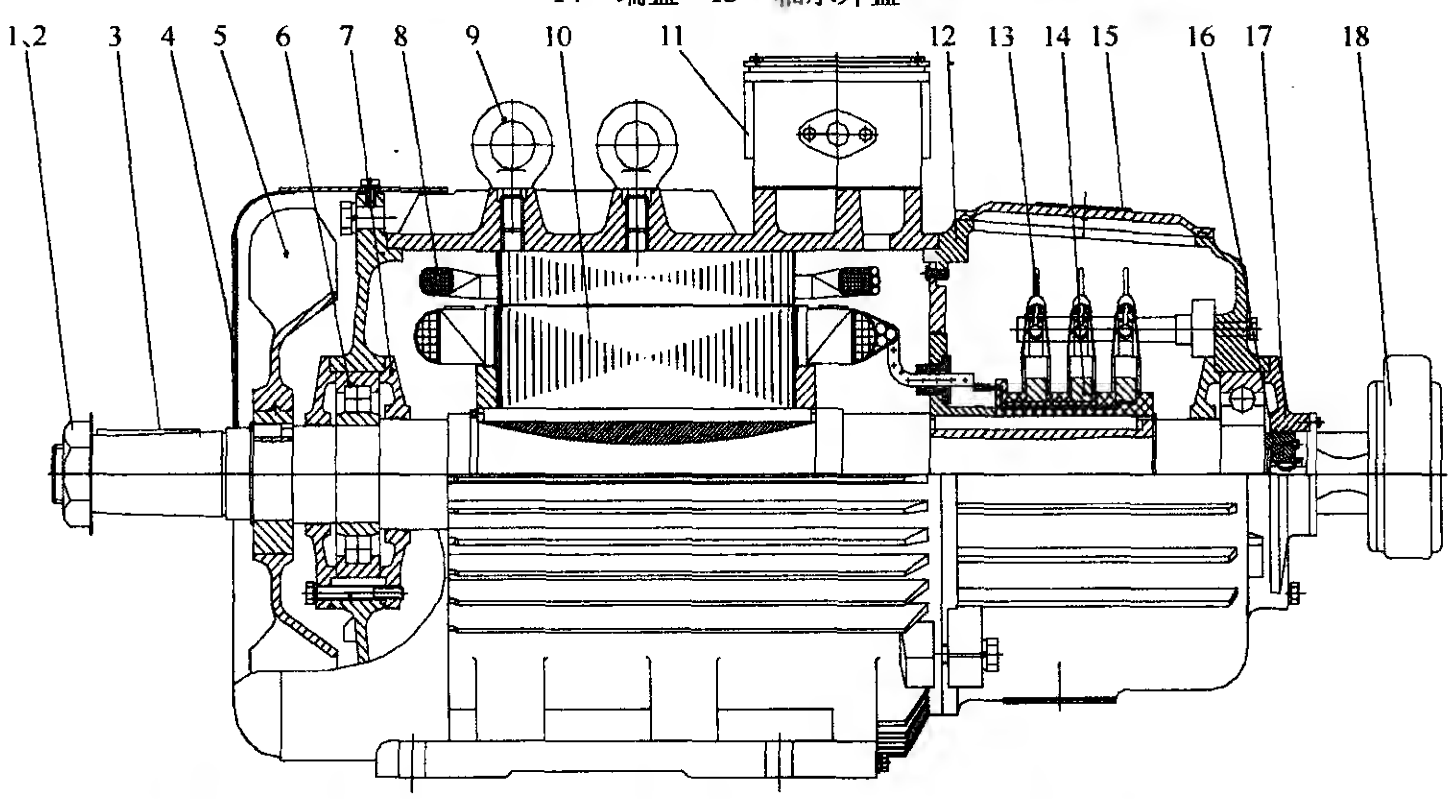


图 1-7　YZR-C 系列电动机结构示意图（IC411）
1—螺母　2—垫圈　3—键　4—风罩　5—风扇　6—轴承　7—轴承内盖　8—定子
9—转子　10—吊环　11—接线盒　12—端盖　13—刷握　14—集电环
15—观察窗盖　16—联轴器　17—轴承外盖　18—超速开关

四、换代产品 YZR3 系列电动机的结构与主要特点

1. 概述

该系列产品从产品的电磁与结构设计上进行优化，摒弃 YZR、YZR2 系列产品存在的问题，与国际先进公司的产品性能“接轨”，借鉴其先进、合理、美观的外观设计，调整产品结构而设计了新一代高效环保起重及冶金用绕线转子三相异步电动机。

该系列电动机适用于各种型式的起重机械及冶金辅助设备的电气传动，具有较大的

过载能力和较高的机械强度，适用于短时或断续周期工作制，频繁的起动、制动及逆转、有时过载及有显著振动与冲击的设备。目前只有佳木斯电机股份有限公司具有生产此电动机的能力，并能批量生产。

2. 产品的先进性

（1）通过收集国内外大量的资料，特别对西门子公司同系列电动机的性能数据进行了对比分析和比较，详细研究了起重及冶金用电动机的发展趋势，确定 YZR3 系列型谱，该系列电动机与西门子公司电动机功率等级及性能相当。

（2）拓展了产品的规格，增加了高转速规格，扩大了服务领域。

（3）YZR3 系列电动机的功率等级和安装尺寸的对应关系与 YZR、YZR2 系列电动机一致，与德国 DIN42681 及日本 JEM1202 标准规定基本相同，并能达到互换。

（4）贯彻了标准化、系列化、通用化要求，采用 IEC 及世界先进国家标准，贯彻了国家安全标准，便于国际互换，适应对外贸易的发展。

（5）对电动机整体结构进行了调整，风扇设在非轴伸端（集电环端），使机座加工更方便，并能保证底脚强度。

（6）机座、端盖造型设计美观、实用。散热片外径呈非同心圆分布，整体接近方形，立体感强。加高了个别部位散热片的高度，提高了散热效果。端盖内部增加了网状加强筋，提高了端盖刚度。

（7）防护等级可达到 IP55，接线盒防护等级可达到 IP56。

（8）与 YZR 系列相比，效率高、噪声低、重量轻、转动惯量小。

（9）提高了集电环系统的可靠性。绕线转子三相异步电动机的薄弱环节，即是刷握装置与集电环部分，而其中最重要的是电刷与集电环的匹配问题。集电环与电刷最佳匹配关系，作为科研课题进行了研究，通过试验结果确定了理想的匹配关系。

（10）定、转子接线盒独立设置，空间大，接线方式灵活，可满足多方位出线要求。

3. 电动机的结构（见图 1-8）

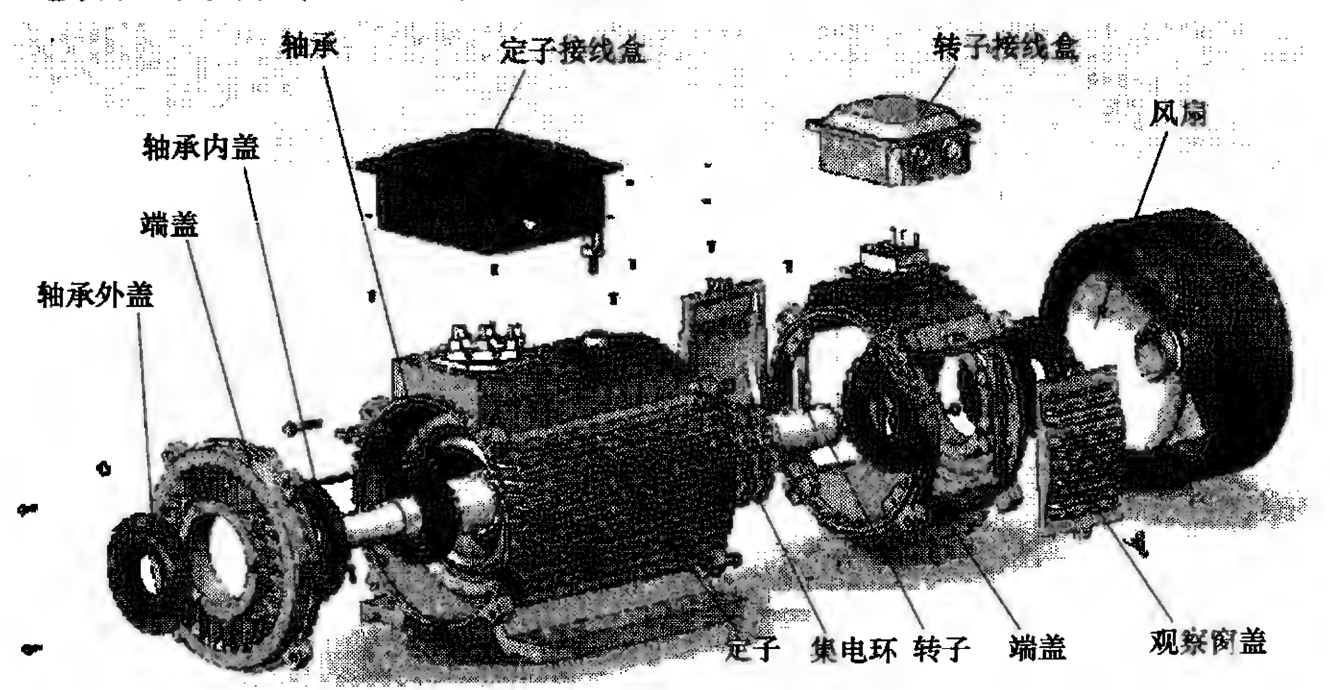


图 1-8 YZR3 系列起重及冶金用绕线转子三相异步电动机结构

4. 技术参数及外形安装尺寸（见附录 A）

第四节　起重及冶金用防爆电动机的结构及主要特点

一、概述

起重及冶金用隔爆型（电磁制动）三相异步电动机（*H*112～250）主要用于各种型式的防爆起重机械的电力拖动及制动，具有较大的过载能力和较高的机械强度。因此，它特别适用于那些短时或断续运转和频繁起、制动的设备。电动机的防爆性能符合 GB 3836.2—2010《爆炸性环境　第 2 部分：由隔爆外壳“d”保护的设备》的规定。制成隔爆型，防爆标志为 ExdⅡAT4、ExdⅡBT4 及 ExdⅡCT4。它适用于煤矿井下设备及工厂ⅡA、ⅡB、ⅡC 级，引燃温度组别为 T1～T4 组的爆炸性气体环境。

二、防爆电动机的型号、结构及特点

1. 电动机型号、结构

防爆电动机的型号：起重及冶金用隔爆型三相异步电动机（*H*112～250）系列型谱见表 1-8，技术参数和外形及安装尺寸见附录 D，电动机结构如图 1-9 所示。

表 1-8　YBZ 系列型谱

<table>
<tr><th rowspan="3">机座号</th><th colspan="6">同步转速/(r/min)</th><th rowspan="3">J_m/(kg·m²)</th></tr>
<tr><th>1500</th><th>1000</th><th>750</th><th>1500/375</th><th>1000/375</th><th>750/300</th></tr>
<tr><th colspan="6">功率/kW</th></tr>
<tr><td>112M</td><td>2.2</td><td>1.5</td><td rowspan="5">—</td><td>0.75/0.2</td><td>0.75/0.2</td><td rowspan="7">—</td><td>0.022</td></tr>
<tr><td>132M1</td><td>3.7</td><td>2.2</td><td>1.5/0.4</td><td>1.5/0.4</td><td>0.059</td></tr>
<tr><td>132M2</td><td>5.5</td><td>3.7</td><td>2.2/0.55</td><td>2.2/0.55</td><td>0.064</td></tr>
<tr><td>160M1</td><td>7.5</td><td>5.5</td><td>3.7/1.0</td><td>3.7/1.0</td><td>0.117</td></tr>
<tr><td>160M2</td><td>11</td><td>7.5</td><td>5.5/1.5</td><td>5.5/1.5</td><td>0.148</td></tr>
<tr><td>160L</td><td>15</td><td>11</td><td>7.5</td><td>7.5/2.0</td><td>7.5/2.0</td><td>0.198</td></tr>
<tr><td>180L</td><td rowspan="5">—</td><td>15</td><td>11</td><td>11/3.0</td><td>11/3.0</td><td>0.360</td></tr>
<tr><td>200L</td><td>22</td><td>15</td><td rowspan="4">—</td><td rowspan="4">—</td><td>11/3.7</td><td>0.632</td></tr>
<tr><td>225M</td><td>30</td><td>22</td><td>15/4.5</td><td>0.832</td></tr>
<tr><td>250M</td><td>37</td><td>30</td><td>22/6.3</td><td>1.432</td></tr>
<tr><td>250L</td><td>—</td><td>—</td><td>30/10</td><td>1.632</td></tr>
</table>

注：M、L 后面的 1、2 分别代表同一机座长度和转速下的不同功率。

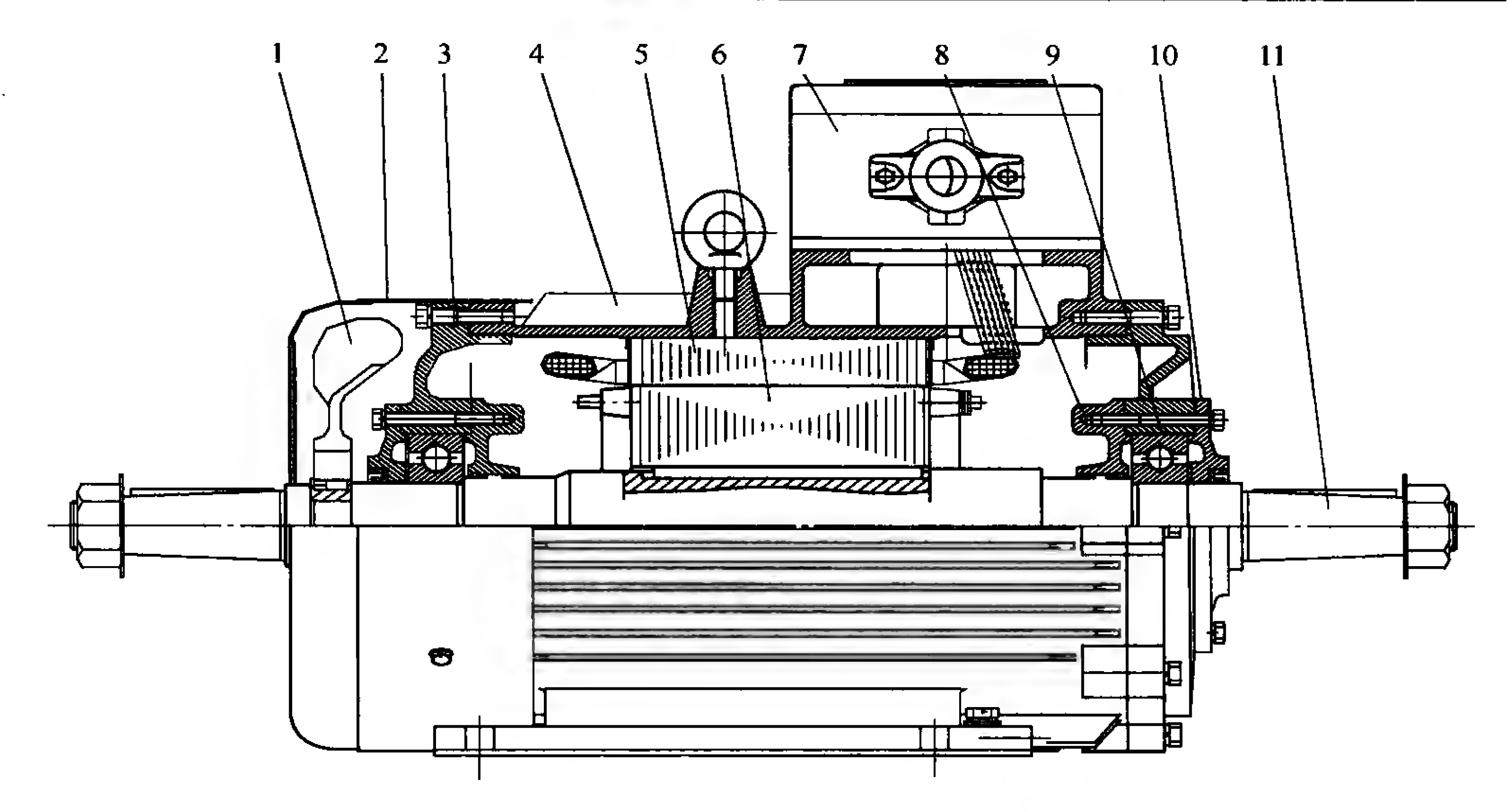


图 1-9 YBZ 系列电动机结构示意图

1—风扇 2—风罩 3—端盖 4—机座 5—定子铁心 6—转子铁心
7—接线盒 8—轴承内盖 9—轴承 10—轴承外盖 11—轴

2. 电动机特点

(1) 结构特征 电动机的结构及安装型式符合表 1-9 的规定（见 GB/T 997—2008）。

表 1-9 YBZ 系列电动机结构及安装型式

结构及安装型式	安装代号	制造范围(机座号)
	IM1001(IM1002)	112～160
	IM1003(IM1004)	180～250
	IM3001	112～160
	IM3003	180～225
	IM3011	112～160
	IM3013	180～250

电动机的冷却方式：机座号 112 及 132 为 IC410；机座号 160～250 为 IC411（见 GB/T 1993—1993）。

定子绕组采用 F 级或 H 级绝缘材料，绕组端部有可靠的固定及绑扎，并采用真空压力浸渍（VPI）无溶剂漆工艺处理，电动机的绝缘性能优良，机械强度高，防潮能力

强，使用寿命长。

笼型转子为铸铝结构，采用先进可靠的铸铝工艺制造而成，并经过平衡校验，确保电动机运行平稳可靠。

轴承采用滚动轴承，型号由电动机功率大小和转速高低而定。各机座号选用轴承牌号见表1-10。

表1-10　机座号与轴承牌号对应关系

机　座　号	轴承牌号	机　座　号	轴承牌号
112M	6308	200L	6315
132M	6309	225M	6315
160	6311	250	6316　NU316
180L	6313		

主接线盒置于电动机顶部，接线盒内外均设有单独的接地端子。

（2）防爆结构和要点　电动机的所有电气部件均装在隔爆外壳内。主要零部件包括机座、端盖、轴承内盖、轴、接线盒座及盖、接线端子、接线螺杆、密封圈、螺纹端子套、压紧螺母等，连接隔爆外壳的紧固螺栓数量不可缺少，每个螺栓下装有弹簧垫圈，防止自行松脱，否则会失去防爆性能。

隔爆外壳之间配合面为隔爆结合面，如机座与端盖的止口配合面、轴与轴承内盖配合面（转子部位）、螺纹套与接线螺杆的配合面等，隔爆结合面不能磕碰、锈蚀。

电动机引入电缆外径与接线盒座密封圈内径相符，接好线后，由压紧螺母压紧密封圈，使电缆外径与密封圈内径之间及密封圈外径与接线盒座内孔之间无间隙方能达到防爆性能，电动机接线盒内的密封圈内径尺寸，如图1-10、图1-11、图1-12所示。制动器进线口密封圈内径为ϕ6mm，隔爆结合面涂2号防锈油，内接地要可靠接地，工作时外壳表面温度不得超过130℃，电缆进口处的温度不超过60℃，接线后电气间隙不小于8mm，爬电距离不小于10mm。

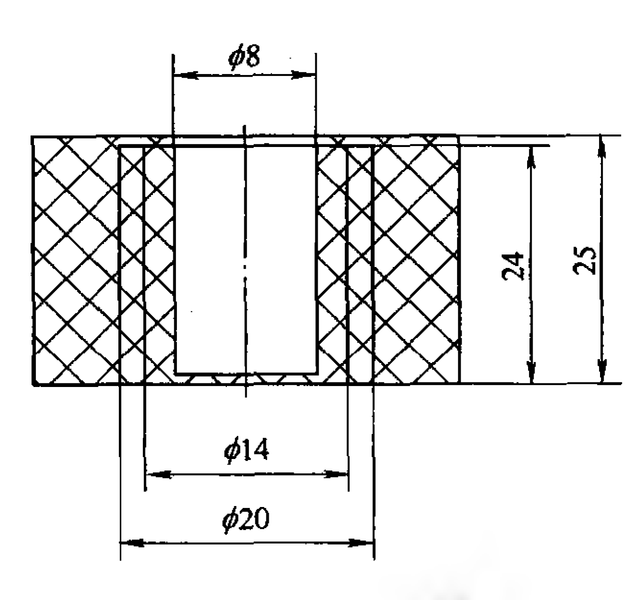


图1-10　H112～132密封圈内径尺寸

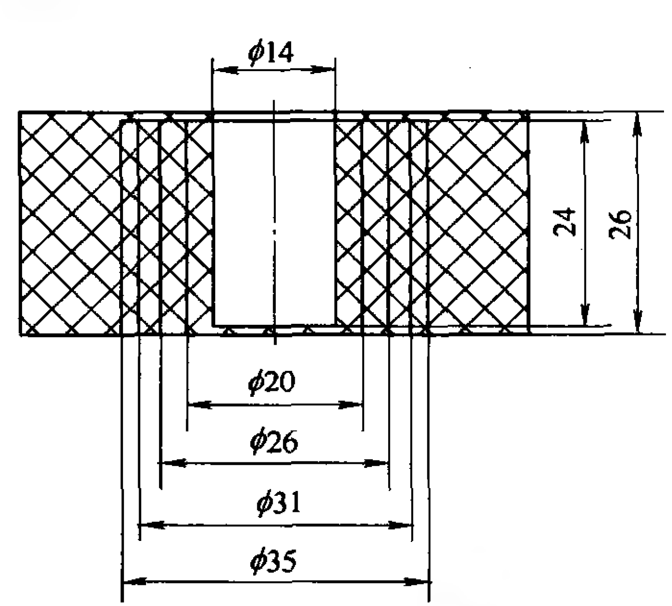


图1-11　H160～180密封圈内径尺寸

注：对于图 1-10 ~ 图 1-12 所示密封圈内径尺寸，用户可根据实际需要自行切槽。

3. 接线盒

电动机接线盒在电动机的上方，电动机与制动器共用一个接线盒。YBZ、YBZE 系列为单口接线盒；YBZS、YBZSE 系列为双口接线盒，出线口从轴伸端朝右侧看，可按用户要求改变出线口的方向。电动机电源接线原理如图 1-13 所示。

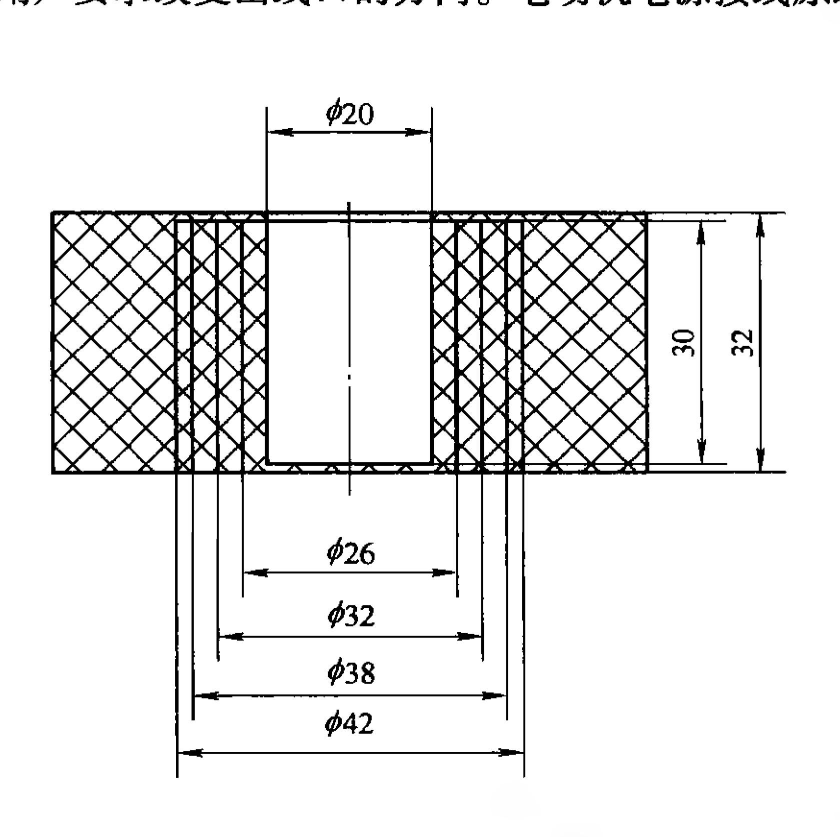
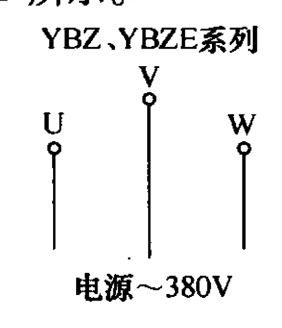


图 1-12　H200 ~ 250 密封圈内径尺寸



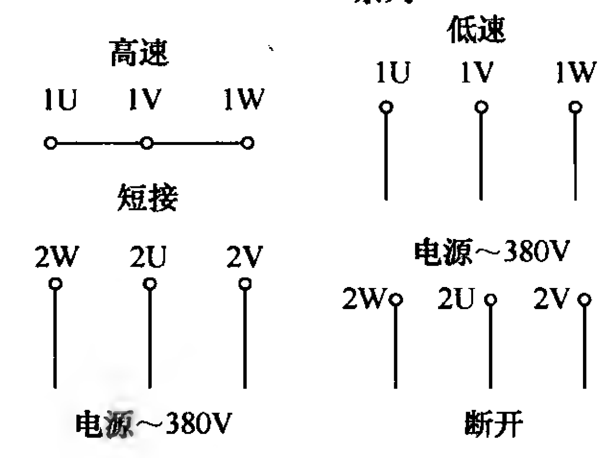


图 1-13　电动机电源接线

三、典型派生产品的结构及特点（见表 1-11）

表 1-11　典型派生产品的结构及特点

型号	YBZE	YBZS	YBZSE	YBZP	YBZPE
结构	见图 1-14	见图 1-15	见图 1-14	见图 1-15	见图 1-14
特点	YBZE 系列电动机，机座号：112 ~ 250，主要应用于防爆场所，安装方式：IMB3、IMV1。绝缘等级：F、H 级，IC410（H112 ~ 132），IC411（H160 ~ 250）。电动机的基准工作制：S3-40%，电动机自带制动器，制动器与电动机主体分别位于两个隔爆腔内，可实现快速制动，且定位准确。制动器为失电制动	YBZS 系列电动机，机座号：H112 ~ 250。安装方式：IMB3、IMV1。绝缘等级：F、H 级。冷却方式与 YBZE 系列相同。电动机工作制：高速为 S3-25%，低速为 S3-15%，可实现两种速度变换使用，属变极调速电动机	YBZSE 系列电动机，机座号：H112 ~ 250。安装方式、绝缘等级、冷却方式与 YBZE 系列相同。电动机工作制：高速为 S3-25%，低速为 S3-15%，可实现两种速度变换使用，同时实现快速制动，且定位准确。制动器为失电制动	YBZP 系列电动机，机座号：H112 ~ 250。安装方式、绝缘等级、冷却方式与 YBZE 系列相同。电动机的基准工作制：S3-40%。变频范围：0 ~ 100Hz，基频以下恒转矩，基频以上恒功率	YBZPE 系列电动机，机座号：H112 ~ 250。安装方式、绝缘等级、冷却方式与 YBZE 系列相同，电动机的基准工作制：S3-40%，变频范围：0 ~ 100Hz，基频以下恒转矩，基频以上恒功率。电动机自带制动器，可实现快速制动，且定位准确

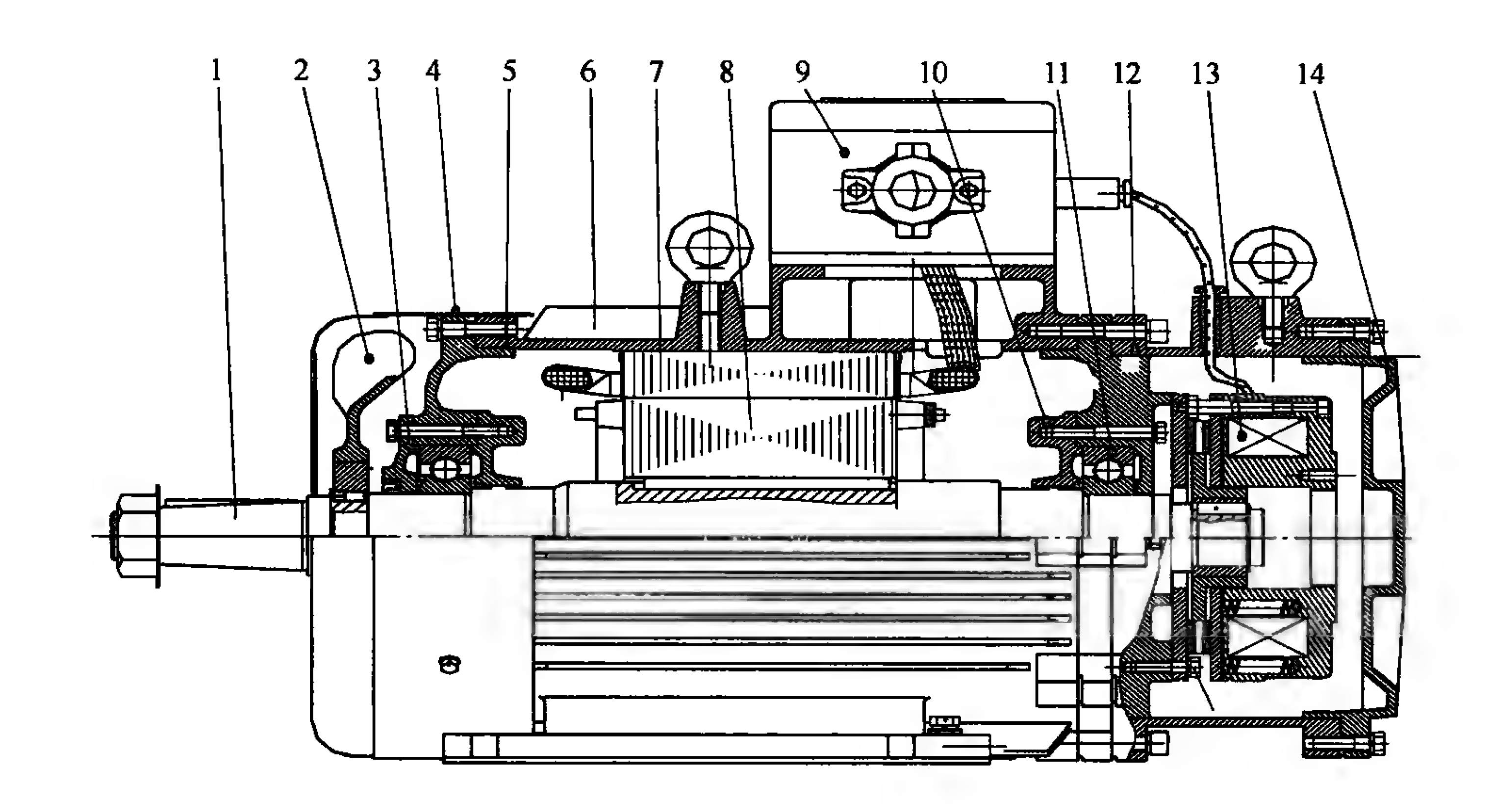


图 1-14　YBZE、YBZSE、YBZPE 系列电动机结构示意图

1—轴　2—风扇　3—轴承外盖　4—风罩　5—端盖　6—机座　7—定子铁心　8—转子铁心　9—接线盒　10—轴承内盖　11—轴承　12—过渡端盖　13—制动器　14—外盖

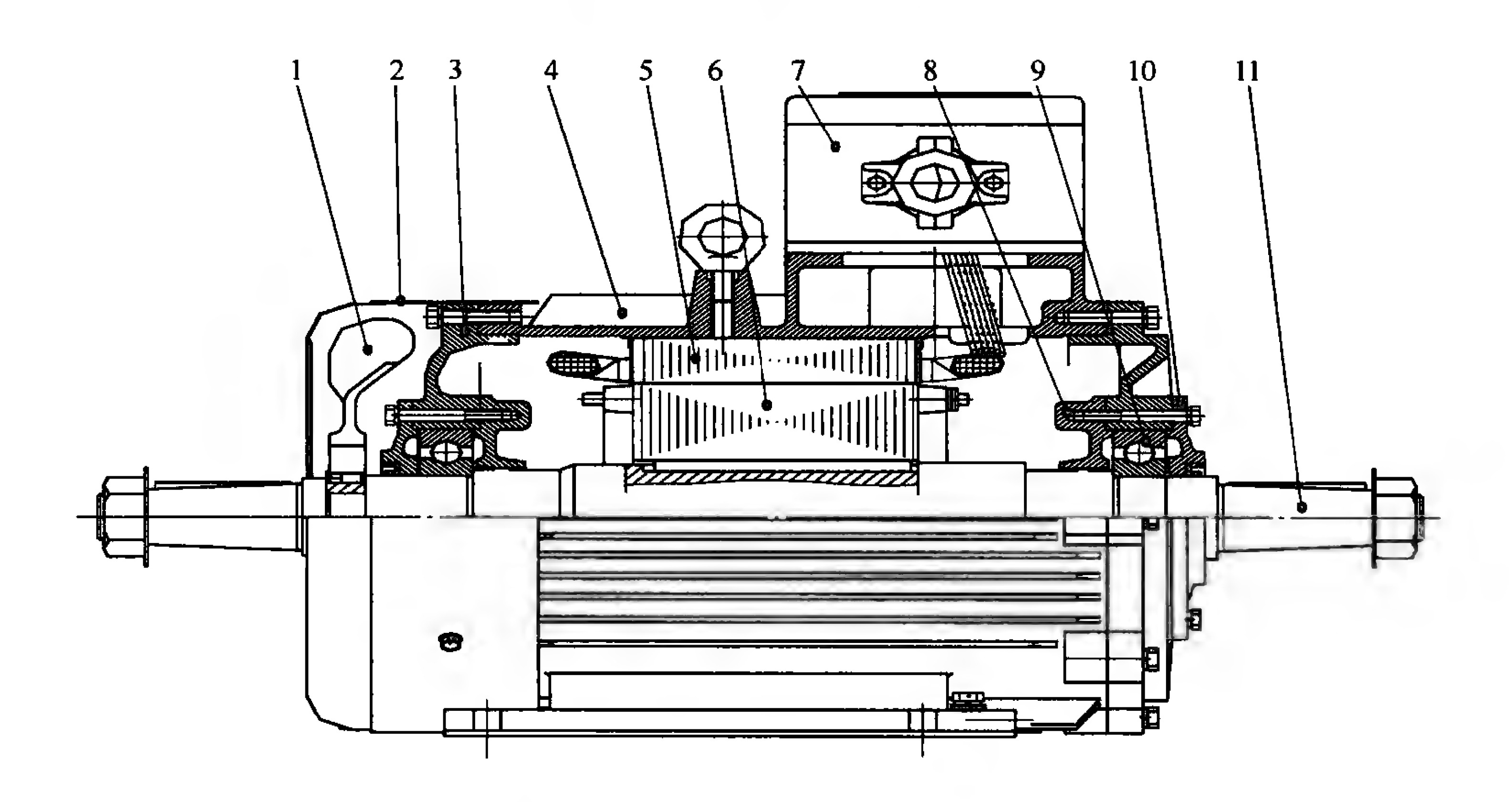


图 1-15　YBZS、YBZP 系列电动机结构示意图

1—风扇　2—风罩　3—端盖　4—机座　5—定子铁心　6—转子铁心　7—接线盒　8—轴承内盖　9—轴承　10—轴承外盖　11—轴

第五节 起重及冶金用变频调速电动机的结构及主要特点

一、概述

由于半导体元器件的发展及其应用技术的进步，促进了交流调速技术的迅速发展。另外，随着微机应用的发展，使许多复杂的控制方式得以实现，提高了系统的控制性能，再加上异步电动机本身具有结构简单、效率高、维修方便，可适用于恶劣环境等优点，使得交流调速系统有了很大的发展，并已逐步取代其他的调速系统而得到了广泛的应用。由于在交流调速系统下运行的异步电动机，已不再是由恒频恒压的正弦波电源供电，而是由变频变压变频器来供电的。随着电源性质的控制方式及电动机工作方式的改变，电动机的选择和设计都有相应的改变。

变频器供电的三相异步电动机，在起动时，可以实现低频低压下软起动，一般起动电流都很低，因此通常意义上的电动机起动电流倍数对于变频器供电已经没有必要了，但下面一些参数对于确定变频器控制异步电动机的运行是非常重要的，主要包括：

（1）额定电压　电动机铭牌上所规定的额定交流输入电压，是电动机端子上线电压的有效值。

（2）额定频率　电动机铭牌上所规定的电动机额定电压时的频率。

（3）额定电流　电动机铭牌上所规定的额定工作条件下的交流电流有效值。

（4）额定功率因数　额定电压、额定频率和额定负载条件下的功率因数。

（5）转差率　相对工作频率下同步转速（n_0）和转子实际转速（n）之差的标幺值，即 $s=(n_0-n)/n_0$。

（6）额定转差　额定负载条件下电动机的转差。

（7）基本转速　基本频率时电动机的转速。

（8）最大运行转速　变频器输出最高频率时电动机的转速。

（9）最小运行转速　变频器输出最小频率时电动机的转速。

（10）电动机最大安全转速　在不引起永久性异常的机械性变形或缺陷的前提下，电动机最大设计转速。

（11）额定压/频比　额定气隙磁通下产生每安培额定转矩时的比率。

（12）转矩脉动　测得的电动机稳态转矩周期性波动的峰-峰变化。

（13）过载能力　在规定的工作条件下，在单位时间段内所能承受的最大负载转矩。

（14）最大电流　在最大过载能力时，在规定工作条件下的输出电流。

二、起重及冶金用变频调速电动机的分类

根据实用场所不同，可分为 YZP 系列起重及冶金用变频调速三相异步电动机（主要用于起重机械）和 YGP 系列辊道用变频调速三相异步电动机（主要用于冶金机械）。

1. YZP 系列起重及冶金用变频调速三相异步电动机

YZP 系列起重及冶金用变频调速三相异步电动机是用于驱动各种型式的起重机械及其他类似设备的专用产品，是在 YZR3 系列电动机基础上派生的产品，具有宽广的调速

范围、较大的过载能力和较高的机械强度，因此，它特别适用于那些短时或断续运行，频繁的起动、制动，有时过载及显著振动与冲击的设备。

电动机的功率等级和安装尺寸符合 IEC60072 推荐标准，功率等级与机座号的相互对应关系与 YZR3 系列电动机一致。

电动机的绝缘等级分为 F 级和 H 级两种。F 级适用于环境空气温度不超过 40℃ 的一般场所，H 级适用于环境空气温度不超过 60℃ 的冶金场所，两种电动机具有相同的参数。

电动机具有良好的密封性，外壳防护等级为 IP54，接线盒防护等级为 IP55。

（1）电动机的工作制及技术数据　电动机的额定电压为 380V，额定频率为 50Hz。基准工作制为 S3-40%，各工作制下电动机的技术数据见表 C-2。电动机铭牌数据一般按基准工作制供给，如用户有特殊要求，则按用户要求提供。当电动机需要按 S3～S5 工作制之外的方式运行时，需与制造厂商协商。

（2）电动机的结构　电动机采用轴流式强迫通风，风机放在非轴伸端。风机电压为三相 AC380V，功率不超过 600W。冷却方式：机座号 100～400 均为 IC416。

（3）YZP 系列技术数据和外形及安装尺寸见附录 C

2. YGP 系列辊道用变频调速三相异步电动机

YGP 系列辊道用变频调速三相异步电动机是新一代高可靠性的变频用辊道电动机，具有体积小、重量轻、性能好、使用可靠和维护方便等优点，其综合技术指标已达到国际同类产品的先进水平。

YGP 系列电动机适用于频繁起制动、正反转、反接制动等恶劣条件下连续或断续工作，具有较大的调速范围和过载能力，以及有较高的机械强度，是冶金工业辊道传送的变频专用电动机，也可用于其他类似机械设备上。

YGP 系列辊道电动机的额定电压为 380V，可按照实际所需的转速范围确定 YGP 电动机的额定频率的最佳值，调速范围宽、振动小、噪声低，能与国内外各种变频装置相配套。变频范围为 0～120Hz；额定频率以下为恒转矩调速；额定频率以上为恒功率调速。它适用于 V/F 控制、转差角频率控制及矢量控制等控制方式。当用于矢量控制时，需提供图 1-16 所示等效电路中的参数。根据电动机和变频器不同选择及实际需要，可按图 1-17 所示的 Q1、Q2、Q3、Q4 曲线进行不同的电压补偿，以满足在低频时输出恒转矩的要求。

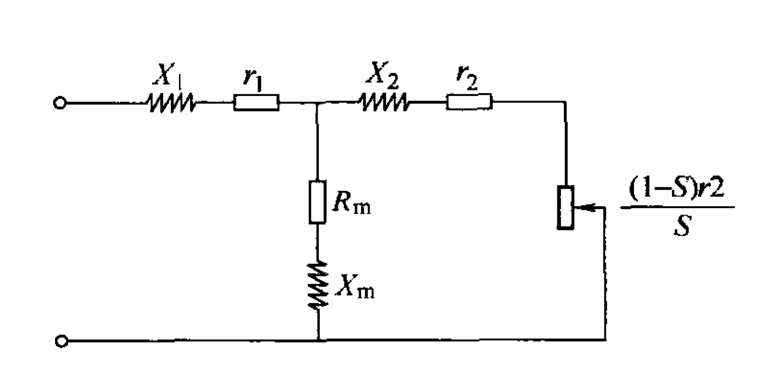


图 1-16　等效电路

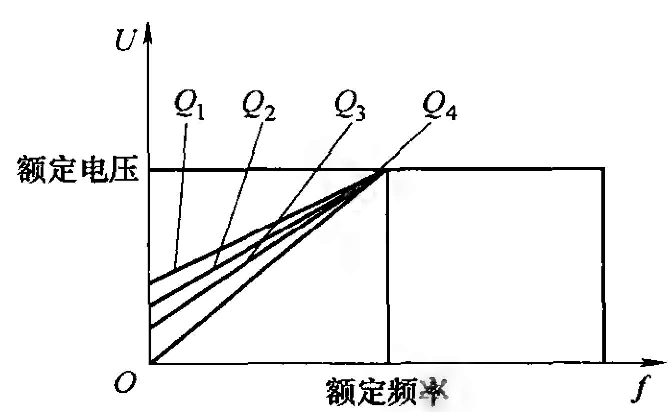


图 1-17　不同电压补偿时运行特性曲线

YGP 系列电动机绝缘等级为 F 级或 H 级；防护等级为 IP54；安装结构型式为 B3（机座号 112～400）、B5（机座号 112～250）、B35（机座号 112～250）；冷却方式为 IC410；机座号 200 及以上电动机带有不停机注油结构，可以不停机进行注油，加长了维护周期，提高了工作效率。

表 1-12、表 1-13 给出了 YGP 辊道电动机常用的技术数据，表 1-12 适用于 380V，50Hz，4、6、8 极的辊道电动机（机座号 112～400）；表 1-13 适用于 380V，30Hz，6、8、10、12 极的辊道电动机（机座号 200～400）；根据用户要求，可提供其他任何电压及频率下技术数据及相应产品。

表 1-12 YGP 系列辊道电动机的常用技术数据（额定电压 380V、额定频率 50Hz）

型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	最大转矩/额定转矩	功率因数 cosφ	效率 η(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP112	2	4	1426	4.3	2.5	0.85	82.9	12	0.0166	90
	1.1	6	920	2.8	2.5	0.77	78	8.9		
YGP132M1	3	4	1450	6.2	2.5	0.85	87	17	0.0251	110
	2	6	940	4.9	2.5	0.78	79	13.5		
YGP132M2	4	4	1450	9.2	2.5	0.85	87	23	0.0333	120
	3	6	935	7.1	2.5	0.78	82	20		
YGP160S	5.5	4	1470	11.3	2.5	0.85	87	32	0.101	180
	4	6	935	8.8	2.5	0.83	83	25		
YGP160L1	7.5	4	1460	15	2.5	0.85	89	46.5	0.114	210
	5.5	6	945	12	2.5	0.84	83	36		
YGP160L2	11	4	1460	21.8	2.5	0.86	89	66.5	0.140	230
	7.5	6	945	16.3	2.5	0.84	83	52		
YGP180L	11	6	935	22.8	2.5	0.85	86	72	0.294	300
	7.5	8	710	19	2.5	0.71	84	55		
YGP200L1	15	6	970	31.8	3.5	0.83	86	131.8	0.566	400
	11	8	730	27.3	3.5	0.71	86	123.6		
YGP200L2	18.5	6	970	38.4	3.5	0.83	88	160	0.632	420
	13	8	737	31.5	3.5	0.71	88	120		
YGP225M	22	6	960	45	3.5	0.84	88	172	1.1	580
	15	8	730	35.9	3.5	0.72	88	154		
YGP250M1	25	6	960	50	3.5	0.85	89	200	2.1	650
	18.5	8	730	41.2	3.5	0.75	89	175		
YGP250M2	30	6	970	60	3.5	0.85	89	249.9	2.57	680
	22	8	725	50	3.5	0.75	89	185		

（续）

型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	最大转矩/额定转矩	功率因数 cosφ	效率 η(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP280L1	37	6	980	71.6	3.5	0.87	90	330	5.12	930
	30	8	730	68.1	3.5	0.75	89	320		
YGP280L2	45	6	980	87.1	3.5	0.87	90	400	6.95	1150
	37	8	730	84	3.5	0.75	89	390		
YGP315S	55	6	965	106.5	3.5	0.87	90	460	9.6	1300
	45	8	730	100.8	3.5	0.76	89	430		
YGP315M1	75	6	965	143.5	3.5	0.87	91	630	11.4	1400
	55	8	730	122	3.5	0.76	90	520		
YGP315M2	90	6	965	172.2	3.5	0.87	91	740	12.5	1490
	75	8	730	161.1	3.5	0.79	89	630		
YGP355L1	110	6	977	199	3.5	0.91	92	760	18.6	1700
	90	8	735	174.4	3.5	0.85	92	754		
YGP355L2	132	6	976	238.9	3.5	0.91	92	955	22.2	1750
	110	8	730	213.7	3.5	0.85	92	810		
YGP355L3	160	6	978	286.5	3.5	0.91	92	1140	25.6	1800
	132	8	730	255.7	3.5	0.85	92	970		
YGP400L1	185	6	965	334.9	3.5	0.91	92	1305	37.1	2000
	160	8	735	310	3.5	0.85	92	1270		
YGP400L2	200	6	956	366	3.5	0.91	92	1410	42.6	2150
	185	8	735	358.5	3.5	0.85	92	1500		
YGP400L3	220	6	960	398.2	3.5	0.91	92	1535	51.7	2290
	200	8	735	387.5	3.5	0.85	92	1670		

注：最大电流是指电动机在输出最大转矩时的电流值。

表 1-13　YGP 系列辊道电动机的常用技术数据（额定电压 380V、额定频率 30Hz）

型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	最大转矩/额定转矩	功率因数 cosφ	效率 η(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP200L1	7.5	6	568	16.1	3.0	0.83	85	60	0.566	400
	6.3	8	435	15.6	3.0	0.72	85	55		
	5.5	10	347	16.8	3.0	0.62	80	61		
	3	12	288	11.6	3.0	0.51	77	50		
YGP200L2	9	6	566	19.4	3.0	0.83	85	70	0.632	420
	7.5	8	436	18.6	3.0	0.72	85	67		

（续）

型号	功率 /kW	极数	额定转速 /(r/min)	额定电流 /A	最大转矩/额定转矩	功率因数 cosφ	效率 η(%)	最大电流 /A	转动惯量 /(kg·m²)	重量 /kg
YGP200L2	6.3	10	347	18.8	3.0	0.62	82	68	0.632	420
	4	12	288	14.9	3.0	0.51	80	55		
YGP225M	11	6	567	23	3.0	0.83	87	85	1.1	580
	9	8	424	22.3	3.0	0.72	85	80		
	7.5	10	347	21.7	3.0	0.63	83	80		
	5.5	12	288	19.7	3.0	0.53	80	70		
YGP250M1	15	6	580	29.3	3.0	0.88	88	106	2.1	650
	11	8	425	25.8	3.0	0.76	85	86		
	9	10	350	25.9	3.0	0.62	85	95		
	7.5	12	290	25.1	3.0	0.54	84	91		
YGP250M2	18.5	6	568	36.2	3.0	0.88	88	131	2.57	680
	15	8	415	34.4	3.0	0.76	87	115		
	11	10	354	30	3.0	0.64	87	110		
	9	12	294	30.6	3.0	0.53	84	110		
YGP280L1	22	6	574	43	3.0	0.88	88	155	5.12	930
	18.5	8	430	42.4	3.0	0.76	87	175		
	15	10	351	39	3.0	0.67	87	180		
	11	12	292	37.4	3.0	0.53	84	150		
YGP280L2	30	6	577	58.7	3.0	0.88	88	230	6.95	1150
	22	8	430	50.4	3.0	0.76	87	208		
	18.5	10	352	48.1	3.0	0.67	87	220		
	15	12	292	44	3.0	0.6	86	205		
YGP315S	37	6	567	72.4	3.0	0.88	88	297	9.6	1300
	30	8	425	65.3	3.0	0.8	87	240		
	22	10	351	54.7	3.0	0.7	87	200		
	18.5	12	282	54.4	3.0	0.6	86	200		
YGP315M1	45	6	565	88	3.0	0.88	88	305	11.4	1400
	37	8	425	80.5	3.0	0.80	87	285		
	30	10	350	68.8	3.0	0.76	87	290		
	22	12	292	62.5	3.0	0.62	86	250		
YGP315M2	55	6	565	105.2	3.0	0.88	90	385	12.5	1490
	45	8	425	96.8	3.0	0.80	88	350		
	37	10	352	83.8	3.0	0.76	88	350		
	30	12	282	75.5	3.0	0.70	86	320		
YGP355L1	75	6	580	137.3	3.0	0.92	90	487	18.6	1700
	55	8	440	107.7	3.0	0.86	90	370		

（续）

型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	最大转矩/额定转矩	功率因数 cosφ	效率 η(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP355L1	45	10	353	94.7	3.0	0.8	90	375	18.6	1700
	37	12	288	90.8	3.0	0.71	87	366		
YGP355L2	90	6	580	164.7	3.0	0.92	90	588	22.2	1750
	75	8	440	146.8	3.0	0.86	90	520		
	55	10	352	115.8	3.0	0.8	90	435		
	45	12	290	107.9	3.0	0.71	89	420		
YGP400L1	110	6	565	201.3	3.0	0.92	90	725	37.1	2000
	90	8	435	176.2	3.0	0.86	90	622		
	75	10	350	157.9	3.0	0.8	90	630		
	55	12	291	128.3	3.0	0.73	89	515		
YGP400L2	132	6	60	241.6	3.0	0.92	90	870	42.6	2150
	110	8	435	215.4	3.0	0.86	90	760		
	90	10	350	189.4	3.0	0.8	90	735		
	63	12	290	147	3.0	0.73	89	570		
YGP400L3	150	6	560	274.5	3.0	0.92	90	990	51.7	2290
	132	8	440	258.4	3.0	0.86	90	915		
	100	10	350	210.5	3.0	0.8	90	830		
	75	12	290	175	3.0	0.73	89	720		

注：最大电流是指电动机在输出最大转矩时的电流值。

3. 电动机外形及安装尺寸（见附录 F）

三、起重及冶金用变频调速电动机的结构及主要特点

1. YZP 系列起重及冶金用变频调速电动机

（1） YZP 系列起重及冶金用变频调速电动机结构（见图 1-18）

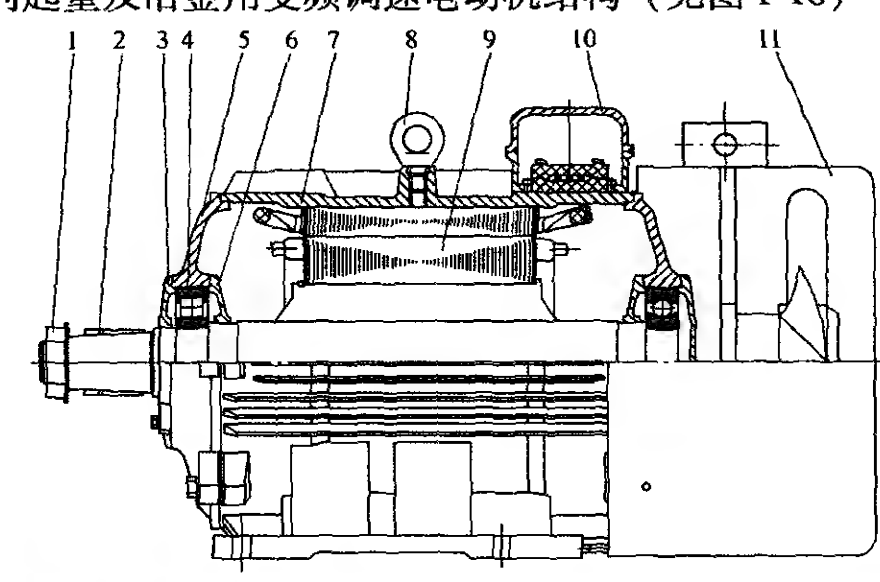
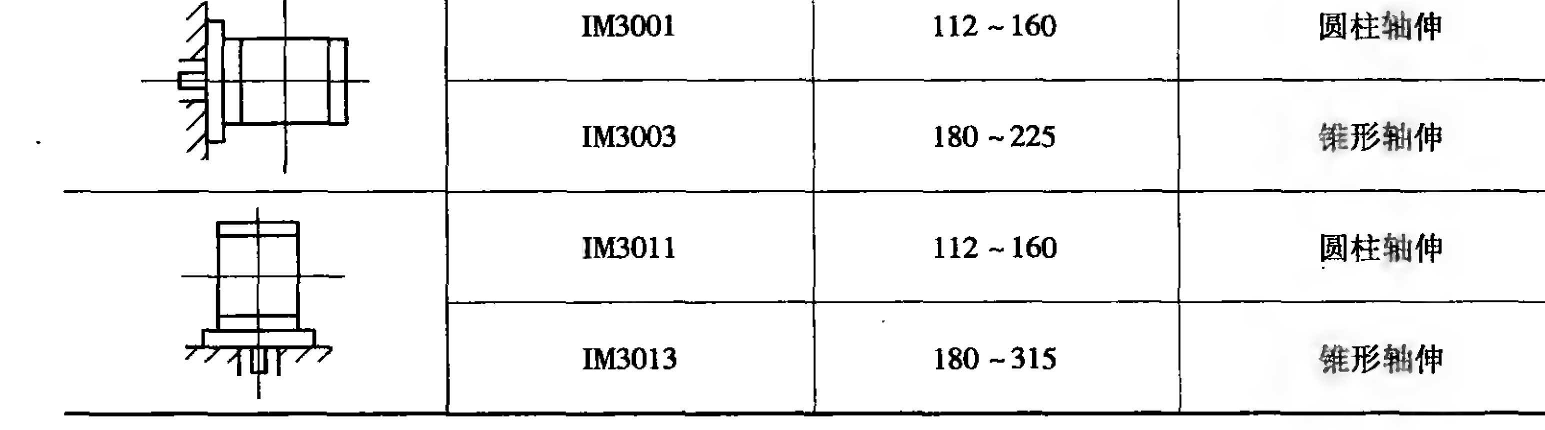


图 1-18 YZP 系列电动机结构示意图（IC416）
1—轴头螺母 2—轴伸键 3—轴承外盖 4—轴承 5—端盖 6—轴承内盖 7—定子 8—吊环 9—转子 10—接线盒 11—风机

(2) YZP 系列起重及冶金用电动机的主要特点

1) 电动机的安装结构型式（见表 1-14）

表 1-14 YZP 系列电动机安装结构型式

结构及安装型式	代　　号	制造(机座号)范围	备　　注
	IM1001	112～160	圆柱轴伸
	IM1003	180～400	锥形轴伸
	IM1002	112～160	圆柱轴伸
	IM1004	180～400	锥形轴伸
	IM3001	112～160	圆柱轴伸
	IM3003	180～225	锥形轴伸
	IM3011	112～160	圆柱轴伸
	IM3013	180～315	锥形轴伸

2）电动机的轴伸可以按用户提出的尺寸或要求制造。

3）传动方式　电动机采用联轴器或正齿轮传动，若采用正齿轮传动，其齿轮节圆直径应不小于轴伸直径的 2 倍。

4）电动机轴伸的轴向窜动量　机座号 100～180 不大于 1mm，机座号 200～400 不大于 2mm。

5）电动机定子接线盒位于电动机顶部。

6）电动机上的各紧固螺栓都有防松措施。

7）电动机选用轴承型号（见表 1-15）。

表 1-15 YZP 系列轴承型号

机　座　号	IM1		IM3	
	负载端	非负载端	负载端	非负载端
112	6308	6308	6308	6308
132	6309	6309	6309	6309
160	6311	6311	6311	6311
180	6313	6313	6313	6313
200	6315	6315	NU315	7315ACJ

（续）

机座号	IM1		IM3	
	负载端	非负载端	负载端	非负载端
225	6315	6315	NU315	7315ACJ
250	NU316	6316	NU316	7316ACJ
280	NU320	6320	NU320	7320ACJ
315	NU322	6322	NU322	7322ACJ
355	NU326	6326	—	—
400	NU328	6328	—	—

8）冷却风机电压为380V，频率为50Hz，功率见表1-16。

表1-16 冷却风机功率（W）

电机型号	风机功率	风机转速/(r/min)	电机型号	风机功率	风机转速/(r/min)
YZP112	60	2700	YZP250	230	1400
YZP132	60	2700	YZP280	370	1400
YZP160	60	2500	YZP315	450	1400
YZP180	60	2500	YZP355	550	1280
YZP200	230	1400	YZP400	1100	1330
YZP225	230	1400			

2. YGP系列辊道用变频调速电动机

（1）YGP系列辊道用变频调速电动机的结构（见图1-19）。

（2）YGP系列辊道用变频调速电动机的主要特点 YGP系列辊道用变频调速三相异步电动机（机座号H112～H450），防护等级为IP54或IP55，冷却方式为IC410，安装方式为IMB3、IMB5、IMB35，基准工作制为S5-60%、300次/h（可为用户要求的其他工作制），变频电动机都可根据用户要求在电动机的非轴伸端安装编码器、测速发电机、超速开关、制动器等，具体结构需根据所加部件的结构方式来确定。

YGP系列辊道用变频调速三相异步电动机设置一个主电源接线盒，位于电动机的非轴伸端上方。出线口朝向电动机的非轴伸端，主电源接线盒内有三个接线螺栓与电源的三相导线相连接。

电动机可根据用户要求安装定子测温装置，定子测温装置如无特别说明，测温元件为一组三只串联PTC热敏电阻。

定子测温元件埋置在定子出线端三相绕组端部，测温元件的引接线引到主接线盒内的电控座上。

定子绕组采用特殊处理的F级或H级绝缘，绕组端部有可靠的固定及绑扎，并采用真空压力浸渍（VPI）无溶剂漆工艺，电动机的绝缘性能优良，机械强度高，防潮能力强，使用寿命长，杜绝了由于变频逆变器谐波及较高数值的du/dt的影响。

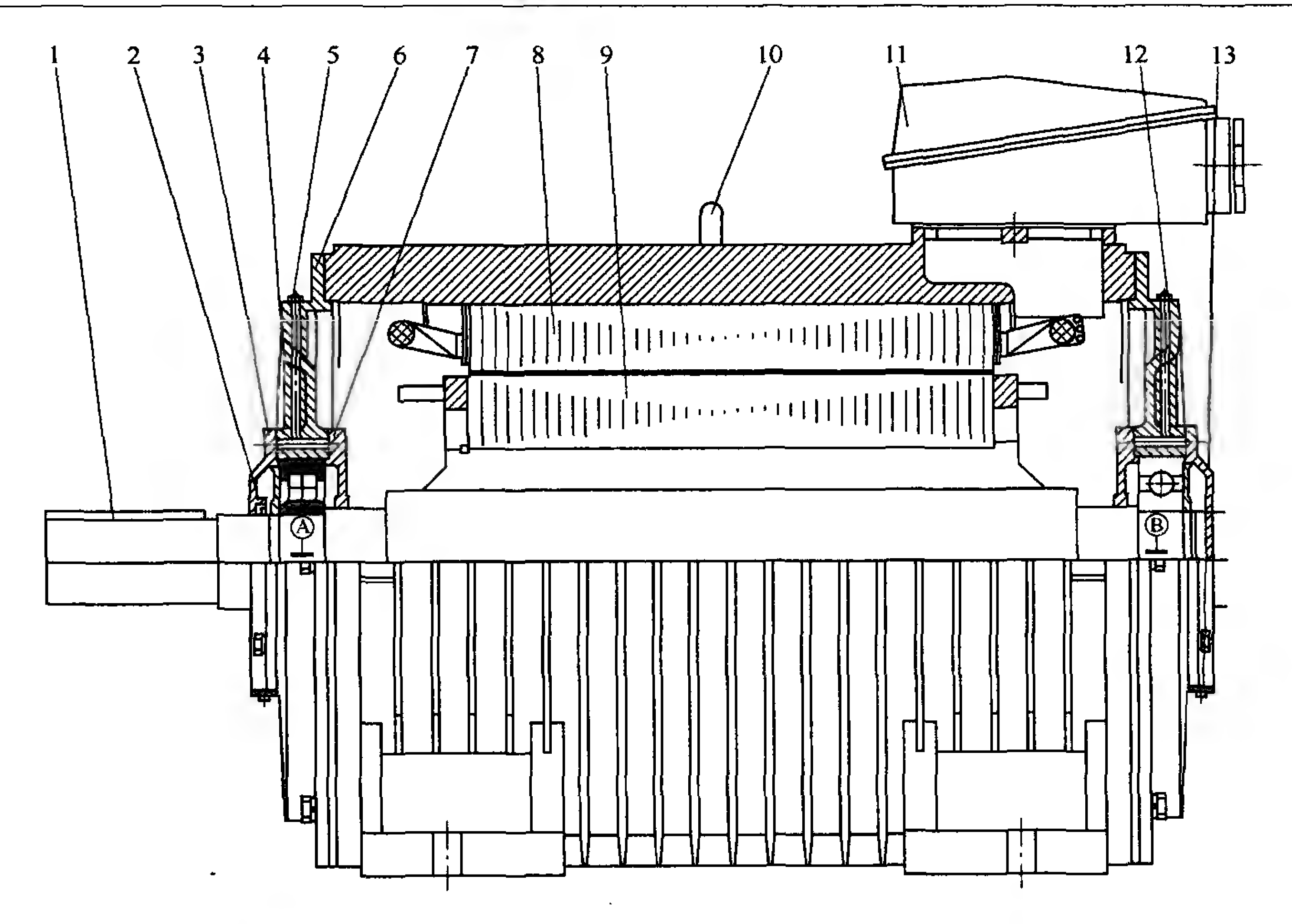


图 1-19 YGP 系列电动机结构示意图（IC410）

1—轴伸键 2—油封 3—轴承外盖 4—轴承 5—油杯 6—端盖 7—轴承内盖 8—定子 9—转子 10—吊环 11—接线盒 12—挡油环 13—排油盖

（3）YPT 低压大功率变频调速三相异步电动机（以下简称 YPT 低压大功率变频电动机） YPT 低压大功率变频电动机主要满足钢铁行业需要调速的机械设备及其他行业类似设备的电气传动。如轧钢机、卷取机、开卷机、平整机、剪切机、风机、水泵等。

额定电压为 690V，额定频率是根据机械设备选定的基准转速而确定的。此时额定频率以下为恒转矩，额定频率以上的为恒功率。本书附录给出的额定频率为 50Hz，但机械需要的基准转速往往是任意的，与其对应的额定频率就不是 50Hz，这时可根据功率和额定转速重新选择电动机的中心高，下面举例说明：

功率为 500kW、额定转速为 410r/min、最高转速为 1300r/min 的电动机，对应该转速时的频率如何选呢？原则是不能低于 6Hz，最高转速对应的频率不能超过 100Hz（80Hz 为好），根据这一原则，试选 8 极和 10 极。额定频率在 8 极时为 740r/min，则 $410 \div 740 \times 50\text{Hz} = 27.7\text{Hz}$；对应 1300r/min 的频率为 $1300 \div 410 \times 27.7\text{Hz} = 86.24\text{Hz}$，如果选 10 极时为 590r/min，则 $410 \div 590 \times 50\text{Hz} = 34.7\text{Hz}$，对应 1300r/min 的频率为 $1300 \div 410 \times 34.7\text{Hz} = 110\text{Hz}$。显然，电动机应该选 8 极的，额定频率为 27.7Hz，因为只有 50Hz 的机座号与功率的对应关系，所以折算到 50Hz 时的功率：$50 \div 27.7\text{Hz} \times 500\text{kW} = 902\text{kW}$，可根据选择的冷却方法，按 900kW-8P 查 YPT 型谱对应的机座号，就是 500kW、410r/min 对应的机座号。

第二章　起重及冶金用电动机的选型、使用和维护

第一节　起重及冶金用电动机选型的基本知识

一、工作制

1. 概念

（1）工作制　电机所承受的一系列负载状况的说明，包括起动、电制动、空载、停机和断能及其持续时间和先后顺序等。

（2）负载持续率　工作周期中的负载（包括起动与电制动在内），持续时间与整个周期的时间之比，以百分数表示。

（3）工作类型　工作制可分为连续、短时、周期性或非周期性几种类型。周期工作制包括一种或多种规定了持续时间的恒定负载；非周期性工作制中的负载和转速通常在允许的运行范围内变化。

2. 工作制类型

常用工作制类型为 S2 ~ S9

（1）S2 工作制——短时工作制　在恒定负载下按给定时间运行，电机在该时间内不足以达到热稳定，随之停机和断能，其时间足以使电机再度冷却到与冷却介质温度差在 2K 以内。

（2）S3 工作制——断续周期工作制（断续周期性工作制是指负载运行期间电机未达到热稳定）　按系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段停机和断能时间，这种工作制，每一周期的起动电流不致对温升有显著影响。如图 2-1 所示。

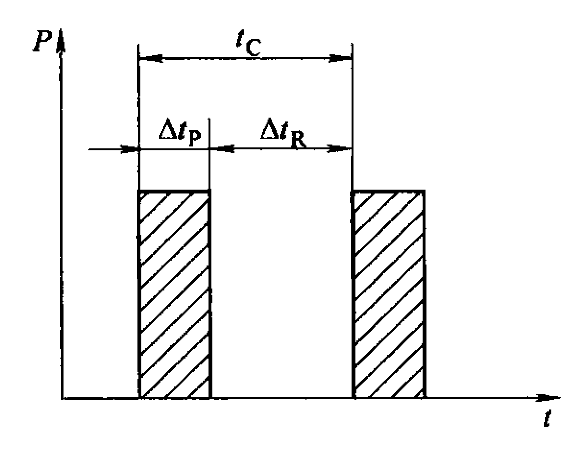


图 2-1　S3 工作制

Δt_P—恒定负载运行时间　Δt_R—停止和断能时间

负载持续率 = $\Delta t_P / t_C$

常用负载持续率：S3-15%、25%、40%、60%。

电动机基准工作制：S3-40%（即负载持续率为 40%，每个周期为 10min）每小时起动 6 次。

S3 工作制负载持续率 40% 的意义：即在 10min 内运行 4min，停机或断能 6min。

（3）S4 工作制——包括起动的断续周期工作制　按一系列相同的工作周期运行，

每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段停机和断能时间（见图 2-2）。

标准标法：工作制 S4-40% 150 次/h。

S4 工作制根据起动次数不同分为三种，而每种起动次数又有不同的负载持续率。如：150 次/h，负载持续率为 25%、40%、60%；300 次/h，负载持续率为 40%、60%；600 次/h，负载持续率为 60%。

（4）S5 工作制——包括电制动的断续周期工作制。

定义：按一系列相同的工作制周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段电制动时间和一段停机和断能时间（见图 2-3）。

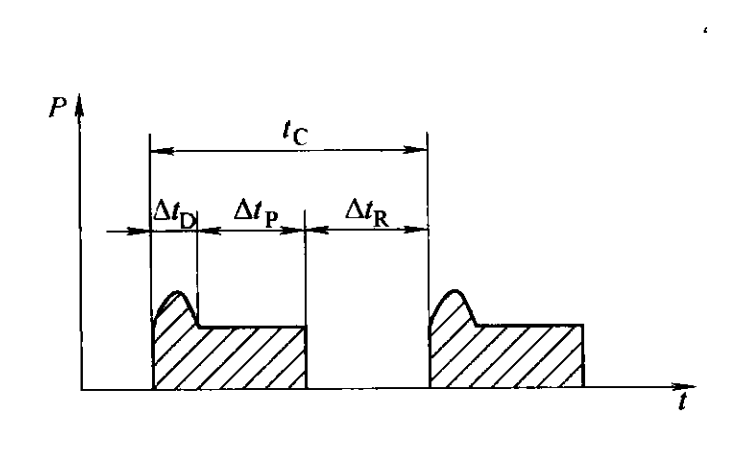


图 2-2 S4 工作制

Δt_D—起动/加速时间 Δt_P—恒定负载时间

Δt_R—停机和断能时间

负载持续率：$(\Delta t_D + \Delta t_P)/t_C$

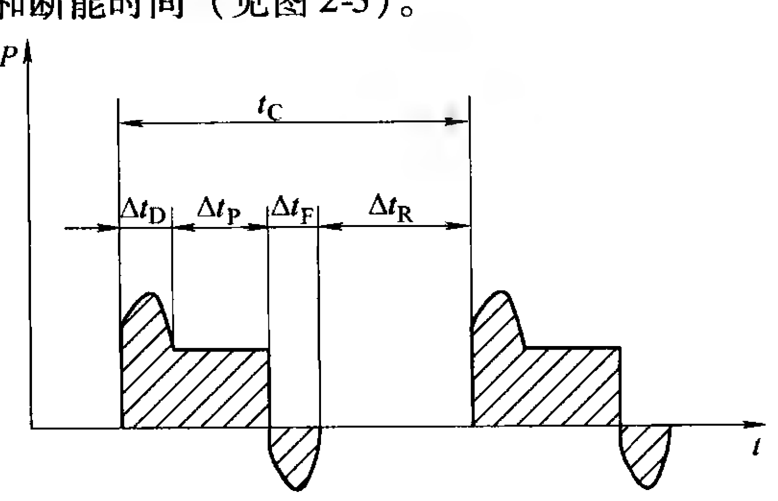


图 2-3 S5 工作制

Δt_D—起动/加速时间 Δt_P—恒定负载时间

Δt_F—电制动时间 Δt_R—停机和断能时间

负载持续率：$(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/t_C$

S5 工作制根据起动次数不同分为三种，而每种起动次数又有不同的负载持续率。如：150 次/h，负载持续率为 25%、40%、60%；300 次/h，负载持续率为 40%、60%；600 次/h，负载持续率为 60%。

S5 与 S4 工作制的功率是一样的，虽然 S5 电制动时温度有所上升，但不致影响太大，因而 S4 与 S5 功率一样。

（5）S6 工作制——按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和空载运行、无停机和断能时间。

（6）S7 工作制——按一系列相同的工作制周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间、无停机和断能时间。

S7 与 S5 相似，只是没有停机和断能时间。

（7）S9 工作制——负载和转速非周期变化的工作制 负载和转速在允许范围内作非周期恒定变化的工作制。这种工作包括经常性过载，其值可远远超过基准负载。

3. 断续周期工作制电机额定功率及极数的选择换算

1）负载持续率不同时的功率，负载持续率一般分为 15%、25%、40%、60%、100%。各负载持续率下的功率按表 2-1 计算，有样本给出的以样本为准。

表 2-1　S3 工作制时各负载持续率计算

工作方式	S3				
负载持续率	15%	25%	40%	60%	100%
额定功率/kW	$P\times1.35$	$P\times1.18$	P	$P\times0.85$	$P\times0.73$

注：P—S3-40% 功率（kW）。

2）S4 及 S5 的功率在产品样本中没有给出各负载持续率下的功率时，按表 2-2 计算，有样本给出时以样本为准。

表 2-2　S4、S5 工作制时不同负载持续率、不同起动次数功率计算

工作方式	S4 及 S5				
	150 次/h			300 次/h	
负载持续率	25%	40%	60%	40%	60%
额定功率/kW	$P_H\times1.12$	$P\times0.86=P_H$	$P_H\times0.87$	$P_H\times0.88=P_F$	$P_F\times0.93$

注：P_H—为 S4 及 S5 负载持续率（40%）（150 次/h）的功率

P_F—为 S4 及 S5 负载持续率（40%）（300 次/h）的功率

4. 负载持续率的选择

应根据现场使用情况，经过相当一段时间统计数据确定的，尽可能代表实际情况。

5. 起动次数

起动次数通常指全起动结束的次数，但在电动机工作状态下，往往有点动，制动状态且没达到全起动，所以按等效发热原则折算成等效起动次数，折算方法为：

1）点动一次（终了时电动机的转速不大于额定转速的 25%）相当 1/4 次起动；

2）电制动（制动到额定转速 1/3）一次相当 0.8 次起动；

3）每小时等效起动次数典型举例见表 2-3。

表 2-3　每小时等效起动次数

工作方式	起制动状态				热等效起动次数
	每小时起动次数	每小时点动次数	每小时制动次数	每小时制动并反转次数	
S3	6 4 2	0 8 8	0 0 2	0	6
S4	150	0	0	0	150
S4	100	200	0	0	
S5	80	0	80	0	
S5	65	130	65	0	
S5	30	160	30	30	

（续）

工作方式	起制动状态				热等效起动次数
	每小时起动次数	每小时点动次数	每小时制动次数	每小时制动并反转次数	
S4	300	0	0	0	300
S4	200	400	0	0	
S5	160	0	160	0	
S5	130	260	130	0	
S5	60	320	60	60	
S4	600	0	0	0	600
S4	400	800	0	0	
S5	320	0	320	0	
S5	260	520	260	0	
S5	120	640	120	120	

二、电动机的安装方式

1. 电机常用的安装方式

B3：有底脚，靠底脚安装在基础构件上，轴伸水平。

B35：有底脚，端盖上带凸缘，借底脚安装在基础构件上，并附用凸缘平面安装，轴伸水平。

B5：无底脚，端盖上带凸缘，凸缘安装，轴伸水平。

V1：无底脚，端盖上带凸缘，借凸缘安装，轴伸向下。

V3：无底脚，端盖上带凸缘，借凸缘安装，轴伸向上。

V6：有底脚，靠底脚安装，轴伸向上。

2. 起重冶金用电机安装方式（见表2-4）

表2-4 起重冶金用电机安装方式

结构及安装型式	代号	制造范围	备注
	IM1001	112～160	圆柱轴伸
	IM1003	180～400	锥形轴伸
	IM1002	112～160	圆柱轴伸
	IM1004	180～400	锥形轴伸

（续）

结构及安装型式	代　　号	制 造 范 围	备　　注
	IM3001	112～160	圆柱轴伸
	IM3003	180	锥形轴伸
	IM3011	112～160	圆柱轴伸
	IM3013	180～315	锥形轴伸

三、冷却方式

冷却方法用国际通用冷却符号 IC 和后面的数字、字母组成，IC 是英文 International Cooling 的简写。

1. 常用术语概念

冷却介质：有初级冷却介质和次级冷却介质，常用的冷却介质有空气（A）、水（W）等等。

初级冷却介质：温度比电机某部件的温度低的气体或液体介质，它与电机的该部件相接触，并将其放出的热量带走。

次级冷却介质：温度低于初级冷却介质温度的气体或液体介质。通过冷却器或电机的外表面将初级冷却介质放出的热量带走。

2. 起重及冶金用电机常用几种冷却方式

IC410：无风扇，自然冷却。

IC411：带风扇，电机带动风扇，吹拂机座表面。

IC416：带轴流式或背包式风机，强迫风冷。

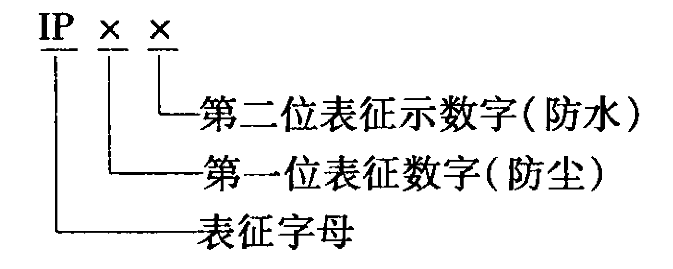
IC511：电机周围布管。

IC666：带空-空冷却器。

IC86W：带空-水冷却器。

四、防护类型

1. 防护等级



第一位数字

0——无防护电机。

1——防护直径大于50mm固体的电机。
2——防护直径大于12mm固体的电机。
3——防护直径大于2.5mm固体的电机。
4——防护直径大于1mm固体的电机。
5——防尘电机（一般灰尘）。
第二位数字
0——无防护电机。
1——防滴电机（垂直滴水无有害影响）。
2——15°防滴电机（当电要从正常位置向任何方向倾斜至15°以内任一角度时，垂直滴水应无有害影响）。
3——防淋电机（与垂直线成60°角范围内的淋水应无有害影响）。
4——防溅水电机（承受任何方向的溅水应无有害影响）。
5——防喷水电机（承受任何方向的喷水应无有害影响）。
6——防海浪电机（承受猛烈的海浪冲击或强烈喷水时，电机的进水量应不达到有害的程度）。
7——防浸水电机（当电机浸入规定压力的水经规定时间后，电机的进水量应不达到有害的程度）。
8——潜水电机（在规定的条件下能长期潜水）。
2. 气候防护类型及环境代号
TH——湿热带型。
F1——户内防中等腐蚀。
F2——户内防强腐蚀。
WF1——户外防中等腐蚀。
WF2——户外防强腐蚀。
W——户外防轻腐蚀。
“三防”——防潮湿、防盐雾、防霉菌。

五、绝缘等级

绝缘等级：电机绝缘等级分为A、E、B、F、H、C五种。起重及冶金用电机的绝缘等级为F、H级。F级电机环境温度为40℃，H级电机环境温度为60℃
A——105℃。
E——120℃。
B——130℃。
F——155℃。
H——180℃。
C——180℃以上

六、防爆基本知识

我国防爆电气标准对电机来说主要有：

GB 3836.1—2000《爆炸性气体环境用电气设备　第1部分：通用要求》。

GB 3836.2—2000《爆炸性气体环境用电气设备　第2部分：隔爆型“d”》。

GB 3836.3—2000《爆炸性气体环境用电气设备　第3部分：增安型“e”》。

GB 12476.1—2000《可燃性粉尘环境用电气设备》。

GB/T 2900.35—1998《电工术语　爆炸性环境用电气设备》。

还有其他一些标准，例如：本质安全型“i”；正压型“p”；充油型“o”；充砂型“q”；无火花型“n”；浇封型“m”等。

1. 一般术语

（1）防爆电气设备　在规定条件下不会引起周围爆炸性环境点燃的电气设备。

（2）爆炸性环境用电气设备的类别　按照电气设备使用的爆炸性环境而划分的类别有Ⅰ类：煤矿井下用电气设备；Ⅱ类：除煤矿井下之外所有其他爆炸性气体环境用电气设备。

（3）最高表面温度　电气设备在规定范围内的最不利运行条件下工作时，其表面或任一部分可能达到的并有可能引燃周围爆炸性气体环境的最高温度。

（4）温度组别　爆炸性环境用电气设备按其最高表面温度划分的组别。

（5）爆炸性环境　在大气条件下，气体、蒸气、薄雾、粉尘或纤维状的可燃物质与空气形成的混合物，点燃后，燃烧传至全部未燃混合物的环境。

（6）爆炸性气体环境　在大气条件下，气体、蒸气或薄雾状的可燃物质与空气形成混合物，点燃后，燃烧传至全部未燃混合物的环境。

（7）爆炸性粉尘环境　在大气条件下，粉尘或纤维状的可燃物质与空气形成混合物，点燃后，燃烧传至全部未燃混合物的环境。

（8）爆炸性气体环境危险区域划分中的0区　连续或长期出现爆炸性气体环境的区域。

（9）爆炸性气体环境危险区域划分中的1区　正常运行时可能出现爆炸性气体环境的区域。

（10）爆炸性气体环境危险区域划分中的2区　正常运行时不可能出现爆炸性气体，如果出现也是偶尔发生并且仅是短时间存在的区域。

（11）粉尘　在大气中依靠自身重量可沉淀下来，但也可持续悬浮在空中一段时间的固体微小颗粒。

（12）可燃性粉尘　与空气混合后可能燃烧或闷燃，在常温常压下，与空气形成爆炸性混合物的粉尘。

（13）导电性粉尘　电阻系数等于或小于$1\times10^{3}\Omega\cdot m$的粉尘，纤维或飞扬物。

（14）可燃性粉尘环境　在大气环境条件下，粉尘或纤维状的可燃性物质与空气的混合物点燃后，燃烧传至全部未燃混合物的环境。

（15）粉尘层最低点燃温度　规定厚度的粉尘层在热表面上发生点燃的热表面的最低温度。

（16）粉尘云的最低点燃温度　炉内空气中所含粉尘云出现点燃时炉子内壁的最低

温度。

(17) 允许的最高表面温度　为避免粉尘点燃，在实际运行中允许电气设备表面达到的最高度，这取决于粉尘类型、层厚和采用的安全系数。

(18) 防粉尘点燃　本部分规定适用于电气设备上的避免粉尘层或粉尘云点燃的所有有关措施（例如：防止粉尘进入和限制表面温度）。

(19) 尘密外壳　能够阻止所有可见粉尘颗粒进入的外壳。

(20) 防尘外壳　不能完全阻止粉尘进入，但进入量不会阻碍设备安全运行的外壳。粉尘不应堆积在该外壳内易产生点燃危险的位置上。

(21) 区域　根据爆炸性粉尘/空气混合物出现的频率和持续时间或出现的粉尘层划分区域。

1) 20 区　在正常操作过程中可燃性粉尘连续出现或经常出现，其数量足以形成可燃性粉尘与空气混合的爆炸性浓度混合物和/或可能形成无法控制的和极厚的粉尘层的场所。

这种情况可以发生在粉尘能经常或长时间形成爆炸性混合物的粉尘容器内部。在容器内出现这种情况是具有代表性的。

2) 21 区　未划分为 20 区的场所，在正常操作条件下，可能出现足够量的可燃性粉尘。

该区域可能包括充入或排放粉尘点直接相邻的场所以及出现粉尘层，且在正常操作情况下与空气的混合可能产生爆炸浓度的可燃性粉尘场所。

3) 22 区　未划分为 21 区的场所，可燃性粉尘云偶尔出现并且只是短时间存在，或在异常条件下出现可燃性粉尘的堆积或可能存在粉尘层，并且在空气中产生可燃性粉尘混合物。如果随后的异常条件不能保证排除可燃性粉尘堆积或粉尘层，则应划分为 21 区。

该区之一可以包括含有粉尘，而且粉尘能够从渗漏处漏出并形成沉积的设备附近的区域（例如磨面房，粉尘可能从磨面机中漏出并沉积）。

2. 爆炸性气体环境用电气设备的分类和温度组别

(1) 分类

Ⅰ类：煤矿瓦斯气体环境。

Ⅱ类：除煤矿甲烷气体之外的其他爆炸性气体环境（俗称工厂用）。

用于煤矿的电气设备，其爆炸性气体环境除了甲烷外，可能还有其他成分的爆炸性气体时，应按Ⅰ类和Ⅱ类相应的要求进行制造与检验。

Ⅱ类电气设备按照其拟使用的爆炸性环境的种类可进一步再分类。

Ⅱ类电气设备的再分类：

- ⅡA 类：代表性气体是丙烷；
- ⅡB 类：代表性气体是乙烯；
- ⅡC 类：代表性气体是氢气。

ⅡA、ⅡB、ⅡC 类中的字母定义，是根据爆炸性气体特点（传爆能力）分为 A、

B、C三级。

（2）最高表面温度

1）Ⅰ类电气设备　当电气设备表面可能堆积煤尘时不超过150℃，当电气设备表面不会堆积煤尘时（例如防粉尘外壳内部）时不超过450℃。

2）Ⅱ类电气设备最高表面温度分组（见表2-5）。

表2-5　温度组别对应的最高表面温度

温度组别	最高表面温度/℃	
T1	450	按爆炸性气体最高引燃温度分的组
T2	300	
T3	200	
T4	135	
T5	100	
T6	85	

注：可燃性气体的分级和分组见附录。

3. 防爆标志

（1）爆炸性气体环境用电气设备的防爆标志，由标志Ex、防爆型式或类别和温度组别组成，示例：

Ⅰ类（隔爆型）：ExdI

Ⅱ类（隔爆型ⅡB类，T3组）：ExdIIBT3。

（2）可燃性粉尘环境用电气设备的附加标志

1）A型电气设备由符号DIP和字母数字组成，如DIPA21，其中DIP表示防粉尘点燃，A表示A型，21表示设备可使用区域为21区（如22区标22）。

2）B型电气设备，如DIPB21，DIP表示防粉尘点燃，B表示B型，21表示设备可使用的区域为21区。

3）A型和B型电气设备　两种不同型式的电气设备，具有同等的防点燃水平。两种型式中均分为尘密性和防尘型。A型和B型，标准规定了不同的结构参数，不同的试验方法和不同标志方法。但判定合格标准是一致的，制造厂一般多提供A型。因为标准中未对A型电气设备的结构参数做具体的规定，以试验合格为准，而B型对结构参数有具体规定，以符合规定和试验合格为准。

4. 防爆原理

（1）爆炸性混合物　在爆炸上下限之间的可燃性气体、蒸气、薄雾、粉尘或纤维与空气的混合物。

（2）混合物的形成　在煤矿井下、石油化工、轻工等场所的生产流程和贮存、运输过程中，即使是正常操作，也可能有的部位出现可燃气体、液体蒸气和薄雾、粉尘和纤维的漏泄情况，而形成爆炸性混合物。

（3）混合物燃烧、爆炸的条件

1）存在可燃性物质（分气体、粉尘两种）。

2）助燃物质　主要指空气中的氧。

3）引燃源　通常指热能量，如火花、静电、电弧、高温等。

4）防爆原理　上述三条件，只有同时存在，才能引燃爆炸性混合物环境，缺一不可，因此有目的的采取措施，使三个条件不同时存在，而防止燃烧或爆炸发生的原理，就是防爆原理。所以对于爆炸性气体环境用电气设备，就出现各种防爆型式，隔爆型就是其中的一种防爆型式，可燃性粉尘环境用电气设备出现 A 型和 B 型。

5）隔爆型防爆原理　隔爆型代号为“d”。隔爆型电气设备由很多部件组成外壳，由配合面及紧固螺栓组成一体，同时还有电缆引入装置。正常情况下，由于外壳各部件间有配合面，所以壳体内部的可燃性气体和空气组成的混合物与电气设备外部环境混合物是相同的。当电气设备内部产生火花或高温点燃内部混合物，火焰肯定通过外壳配合面窜至电气设备外部的爆炸性气体环境，而不能引燃这环境，为什么呢？组成隔爆外壳的部件与部件之间配合面称为隔爆接合面，该接合面有三要素组成，即隔爆接合面的长度、间隙及表面粗糙度，三要素都有定量的规定，符合规定时当火焰通过隔爆接合面时，能量大大削减到不能引燃外部爆炸性气体环境。隔爆外壳要有足够的强度，任何情况下，不能改变三要素的参数值，隔爆接合面也包括隔爆螺纹接合面。

隔爆接合面的表面粗糙度：

- 组成隔爆外壳的轴或杆为 $Ra3.2$；
- 其他隔爆接合面为 $Ra6.3$。

5. 爆炸性气体环境用防爆电动机的选择

（1）确定可燃性气体或蒸气频繁出现的程度，以确定区域；

（2）可燃性气体的种类确定后，查分级和温度组别（见附录）；

（3）选择防爆型式，起重冶金用防爆电机均选为隔爆型，因隔爆型可以用在 1 区和 2 区；

（4）最后确定防爆标志，如 ExdⅡBT4，“d”为隔爆型Ⅱ类（工厂用）B 级气体或蒸气所属级别，T4 组（最高表面温度为 135℃），ExdⅡBT4 可用于 ExdⅡBT1-3、ExdⅡAT1-4。

6. 可燃性粉尘环境用防爆电机的选择

1）无论是 A 型还是 B 型，除了 22 区且为非导电粉尘采用防尘外壳外，其他情况，均需采用尘密结构（IP6X），应特别注意的是，有的使用部门选用隔爆型电气设备用于粉尘场所，这是错误的。

2）在可能出现或分别出现可燃性气体和可燃性粉尘环境中，使用的电气设备应当选复合型电气设备，来同时满足防爆和粉尘的要求。

3）粉尘防爆电机，不适用于那些不需要大气中的氧气即可燃烧的炸药粉尘或自燃引火物资。

4）粉尘防爆电机不适用于可燃性粉尘引起危险的井下煤矿，因为井下煤矿存在甲

烷气体，这种情况下可选复合型。

七、变频调速电动机的基本知识

（一）变频调速电动机的特点及主要技术要求

由于半导体器件的发展及其应用技术的进步，促进了交流调速技术的迅速发展。另外，随着微机应用的发展，使许多复杂的控制方式得以实现，提高了系统的控制性能，再加上异步电动机本身具有结构简单、效率高、维修方便及可适用于恶劣环境等优点，使得交流调速系统有了很大的发展，并已逐步取代其他的调速系统而得到了广泛的应用。由于在交流调速系统下运行的异步电动机，已不再是恒频恒压的正弦波电源供电，而是由变频变压的变频器来供电的。随着电源控制方式及电动机工作方式的改变，电动机的选择和设计都有相应的改变。

变频器按其工作原理可分为：电压源型变频器和电流源型变频器。另外，各种电动机在实现调速时都必须采取一些必要的措施，来改善电动机在调速过程中的机械特性和调速特性，而变频器说明书中的所谓控制方式，就是在变频调速的情况下，改善异步电动机特性的方式。一般来说，变频器主要有以下几种控制方式：

V/F 控制方式：即通过调整变频器输出侧的压频比 $U/f(t)$ 的方法，来改变电动机在调速过程中机械特性的控制方式。

1. 矢量控制方式

是一种模拟直流电动机调速特点的控制方式。根据其有无转速反馈的特点又分为：无反馈矢量控制方式；有反馈矢量控制方式。

2. 直接转矩控制方式

可以通过直接控制转矩的大小来调速。

根据变频器类型及控制方式，工作方式的变化，电动机的选择和设计主要有两方面的因素需要特殊考虑：

一是由于变频器供电产生非正弦的电压和电流谐波的影响；二是由于电机变速运行带来的问题。

非正弦供电对电动机的影响主要有以下几方面：

1）由于存在电流谐波，使电机定子电流增加，空载时尤为突出，从而使电机的功率因数有所降低。

2）由于供电电压和电流谐波产生附加损耗，使电动机的效率有所降低。

3）由于电机总损耗的增大，使电机的温升增加。

4）由于电流谐波分量产生的谐波转矩在某些情况下可能引起电机振动，特别是在低频运行时可能对电机的正常运行产生威胁。

5）由于非正弦供电，磁动势谐波的影响，电机的电磁噪声增大。

6）由于电源中有谐波存在，磁路不平衡及静电感应等原因而易于产生高频轴电流，轴电流的存在引起轴承表面电蚀，导致轴承损坏。

7）由于变频器输出的电压波形含有换流浪涌脉冲电压，电动机绕组绝缘上可能出现较高的电压应力，引起绝缘特别是匝间绝缘的损坏，因此，由变频器供电的电机，绝

缘适当加强以防止绝缘的损坏。

3. 变频运行对电机的要求，主要有以下几方面：

（1）对于采用自扇冷的电机，当电机转速降低时，冷却能力随之下降，因而对于低速运行时的电机散热问题必须予以充分考虑，此外，对于采用滑动轴承的电机低速运行时，还可能影响正常润滑油膜的形成，造成轴承润滑困难。

（2）对于恒速运行的电机，系统的机械共振频率一般远离电机的额定转速的频率，然而对于变速运行的电机，如果设计不当，机组的共振点落在电机的变速运行范围之内，则电机可能发生共振的危险。

（3）对于变频运行的电机不同的转速下，电机的运行工况不同，因而，额定值和最佳工作点的选取是个十分复杂的问题，设计时应使电动机的负载特性尽可能地实现对整个运行区间的最佳覆盖。

（二）变频调速电动机的选型

变频电动机选型时，可以不受恒频恒压电源的影响，但需要考虑很多方面的因素，主要根据三方面的考虑进行选择。

一是变频电源根据变频器的类型进行选择，前面已经讲过变频调速电机的变频器根据其对负载无功功率的处理方式的不同，可以分为电流型和电压型两类。

电压型交-直-交变频器，在直流侧并联大电容以缓冲无功功率，从直流输出端看，电源具有低阻抗，其输出电压波形接近于矩形波，属于电压强制方式。

电流型交-直-交变频器，在直流回路中串以大电感以吸收无功功率，故直流电源呈高阻抗，输出电流接近矩形波，属于电流强制方式。

二是根据控制方式的不同对变频电机的要求不同进行选择。

三是根据电动机所驱动机械负载的性质和生产工艺对电动机的起动、制动、正反转、调速等方面的要求来合理选择。

1. 静止变频电源变换方式

变频调速是利用电动机的同步转速随频率变化的特性，通过改变电动机的供电频率进行调速的方法。用晶闸管、电力晶体管等静止变频装置构成变频电源对异步电动机进行调速已广泛采用，静止变频电源大体上可分为间接变换方式和直接变换方式。

（1）间接变换方式（交-直-交变频） 把交流电通过整流器变为直流电，再用逆变器将直流电变为可变的交流电供给异步电动机，这种变换方式又可分为以下两种类型：

1）电压型变频调速 整流输出经电感电容滤波，具有恒压源特性，逆变器具有反馈二极管，是一种方波电压逆变器。变频器对三相交流异步电动机提供可调的电压与频率成比例的交流电源。这种方法若不设置与整流器反向并联的再生逆变器，则不能实现再生制动。电压型变频器一般在单方向运转，不要求快速调节及多台电动机协调运行等场合使用。

2）电流型变频调速 整流输出靠直流电抗器滤波，具有恒流源特性，供给异步电动机方波电流。这种方式的电能返回电源，适用于要求快速调速的场合，在轧机、风机、泵类等方面广泛采用。

电压型变频与电流型变频的主要特点见表2-6。

表2-6　电流型变频与电压型变频主要特点比较

变频器类别 / 比较项目	电　流　型	电　压　型
直流回路滤波环节	电抗器	电容器
输出电压波形	决定于负载，当负载为异步电动机时，为近似正弦波	矩形
输出电流波形	矩形	决定于变频器电压与电动机的电动势，有较大谐波分量
输出动态阻抗	大	小
再生制动（发电制动）	方便，不需附加设备	需要附加电源侧反并联逆变器
过电流及短路保护	容易	困难
动态特性	快	较慢，用PWM则快
对晶闸管要求	耐压高，对关断时间无严格要求	一般耐压较低，对关断时间要求短
线路结构	较简单	较复杂
适用范围	单机，多机	多机，变频或稳频电源

（2）直接变换方式（交-交变频器）　直接变换方式是利用晶闸管的开关作用，从交流电源控制输出不同频率的交流电供给异步电动机进行调速的一种方法。其最高频率仅为电源频率的1/3～1/2，缺点是不能高速运转。但由于直接交换频率高，输出波形得到改善，直接变频器（或称交-交变频器）调速已在中低速领域内，作为驱动中、大容量异步电动机的调速方法而被广泛采用。

间接变频调速和直接变频调速的主要特点见表2-7。

表2-7　间接变频调速和直接变频调速的主要特点

变频器类别 / 比较项目	交-交变频	交-直-交变频
换能形式	一次换能，效率较高	两次换能，效率略低
换流方式	电源电压换流	强迫换流或负载换流
装置元件数量	元件较多，元件利用率较低	元件较少，元件利用率较高
调频范围	最高频率为电源频率的1/3～1/2	频率调节范围宽，不受电源频率限制
电网功率因数	较低	移相调压、低频低压时功率因数低，用斩波或PWM调压，则功率因数高

2. 控制方式

根据变频电机的特性对供电电压、电流、频率进行适当的控制，变频器采用不同的控制方式所得到的调速性能、特性以及用途是不同的。

控制方式大体可分为两种：开环控制和闭环控制。后者进行电动机速度反馈。作为开环控制有 U/f 控制方式，闭环控制有转差频率控制、矢量控制等方式。

（1）U/f 控制　异步电动机的转速由电源频率和极数决定，所以改变频率，电动机就可以调速运转。但是频率改变时电机内部阻抗也改变，这样单是改变频率将产生由弱励磁引起的转矩不足、由过励磁引起的磁饱和等现象，使电动机的功率因数、效率显著下降。U/f 控制简单，负载不同，则转差频率变化，不能精密控制电动机的实际速度，不适于要求同步运行的需要，而多用于通用变频器、风机泵类机械的节能运行、生产流水线的工作台传动等。另外，最近，空调等家用电器采用的变频器也是使用 U/f 控制。

（2）转差频率控制　采用转差频率控制时，先检出电动机的转速，然后以电动机速度相对应的频率与转差频率的和给定变频器的输出频率。由于能够任意控制与转矩、电流有直接关系的转差频率，与 U/f 控制相比，其加减速特性和限制过电流的能力得到提高。另外，它具有速度控制器，利用速度反馈进行速度闭环控制，要求某种同步运行的时候，也可用于自动控制系统。此外，在转差频率控制中，由于反馈电动机的速度需要速度检出器，通常用于单机运转，即一台变频器控制一台电动机。

（3）矢量控制　异步电动机的调速技术高速发展，其成果之一就是矢量控制的实用化。矢量控制的传动特性，在异步电动机调速系统中得以实现，并已产业化，因而异步电动机在调速系统中的应用范围非常大。异步电动机在低速到高速的宽广调速范围内，以及要求频繁地急加、减速运行和连续运行等场合都可以实现。

3. 负载特性

（1）负载转矩的特性　负载被传动时电机产生的转矩，其大小随负载条件而变化。但如果负载侧其他条件不变，或者负载侧处于正常的控制状态下，具有各种转矩下的转矩转度特性，其类型可分为 3 类：

1）恒转矩负载，如起重机、挤压、传送带负载等；

2）平方转矩负载，如泵、风机负载等；

3）恒功率（反比例转矩）负载，如卷取机、机床主轴负载等。

（2）负载的起动转矩　在选择变频器时，以额定工作点的转矩为 100%，则典型负载起动转矩大体如下：

风扇、鼓风机负载：30% 以下；

挤压机、压缩机负载：150% 以上。

（3）$PUGD^2$　旋转体飞轮力矩的大小多用 GD^2 表示。GD^2 是决定旋转体加减速特性的重要因素。但是用电机额定转矩和额定转速表示的相对值，在确定加减速时间上，比绝对值方便，所以也常使用下式表示 $PUGD^2$ 的值。

$$PUGD^2 = (GD^2 n_N^2)/(365P_N) \times 10^{-2}$$

式中　GD^2——旋转体的飞轮力矩（N · m）；

n_N——额定转速（r/min）；

P_N——电机额定输出功率（kW）。

$PUGD^2$ 表示当负载转矩为零、电机额定转矩在各转速下不变并加在具有 GD^2 的旋

转体上，速度从零加速到额定转速时所需要的时间。典型负载的 $PUGD^2$ 值如下：

电机：0.2～1s

泵：0.1～0.5s

风扇、鼓风机：10～30s

另外，作为与 $PUGD^2$ 相类似的物理量，也使用常数 H。两者的关系如下：

$$H = PUGD^2/2$$

（4）过负载　根据负载的不同，起动后在达到额定状态之前，有的要求长时间过载运转（冷冻机等），有的由于运转中负载侧的外界干扰，常常要求大于额定转矩（在粉碎机等机械混入异物等）。还有，即使不要求这样的过载，电机的输出转矩仅是额定负载转矩，还包含电机、负载的惯性系统加速用转矩。对于负载转矩的最大值，如果电机额定转矩的值选择得没有裕量，那么，加速用转矩就要在变频器和电机的过载容量范围内得到供给。

即使在这样的状态下，为了运行正常，或者为了确保所需的加减速时间，在选择变频器和电机的过载容量（大小、持续时间）不能满足这些要求时，就需要选择更大的额定容量。

（5）齿轮的作用　电机的转速决定于 $120f/p$，但有时还需要齿轮配合调速。

通常，在下列场合可考虑使用齿轮：

1）选择的额定转速比标准电机的极数与50Hz所决定的转速低时，使用减速齿轮。

2）机械的最高转速比2极电机与变频器最高频率决定的转速高时，使用增速齿轮。

3）仅使用变频器最低频率到50Hz额定频率的范围，电机转速的最高/最低的比不足时，利用变频器工业频率以上的增速特性，此时多维持原来的最低频率不变，使用相应的减速齿轮以达到最高速度与原来的额定速度一致。

4）增大起动转矩时，使用减速齿轮，此时为使最高转速与原来的额定转速相一致，变频器的最高频率要选高些。

在使用齿数比 $G_1:G_2$（电机侧:机械侧）的齿轮时，电机侧与负载侧的物理量关系如下式（假定齿轮效率为100%）：

$$n_2 = G_1 n_1 / G_2^{-2}$$

$$T_2 = G_2 T_1 / G_1$$

$$(GD^2)_2^1 = (G_1/G_2)^2 (GD^2)_2$$

式中　n——转速；

T——转矩；

G——齿轮齿数；

$(GD^2)_2$——负载的 GD^2；

$(GD^2)_2^1$——折算到电机侧的负载 GD^2（数字1、2：电机侧和机械侧）。

（6）前馈控制与反馈控制　调速系统控制方式可分为前馈控制和反馈控制。前馈控制不能作为高精度控制使用，但是，随着控制理论的进步，被控机械的正确模型化也取得了进展，基于此的复杂运算也可以用微机简单地进行处理，因此，预测的质量提高

了，可以应用于高精度的控制。

总之，在选择变频电动机时要综合考虑各种因素，使电动机的选择更加符合生产工艺的要求。

八、制动器的原理、结构及接线图

采用德国伦茨（Lenze）公司生产的 BFK458 系列制动器可为 N 型或 E 型。

Lenze 公司的弹簧加压制动器 BFK458 系列，属于常闭型设计，即无电流通过时，其轴处于制动状态，制动器的制动力矩由弹簧压力和摩擦力产生，并且能在干式状态下工作；当接通直流电时，制动器即松开。该系列分为基本模块 E（制动力矩可调，有序号 2 及序号 11）和基本模块 N（制动力矩不可调）两种结构型式，其工作原理如图 2-4 所示。

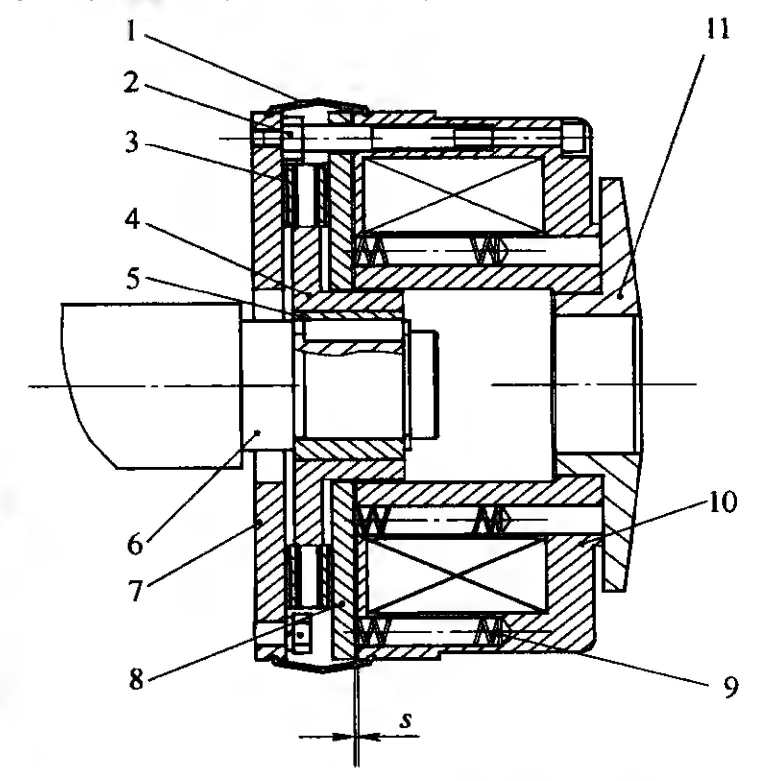


图 2-4　制动器工作原理图

1—防尘盖　2—调节螺管　3—摩擦片
4—转子　5—轴套　6—轴　7—法兰
8—衔铁盘　9—弹簧　10—定子
11—调节螺母　*s*—气隙

当制动时（即断电时）经由滑键（花键）安装于轴套 5 上的转子 4 通过衔铁盘 8 被弹簧 9 压向反摩擦片 3，从而产生制动力矩。此时，在衔铁盘 8 与定子 10 之间会产生一个气隙 S，当放松制动时定子线圈被通以直流电，所产生的磁场使衔铁盘 8 压缩弹簧 9 被定子 10 吸附，此时转子 4 被松开，制动解除。对于 E 型制动器制动力矩的大小可通过调节螺母 11 进行调节。

该制动器选用带有直流开关的六极半波整流器时，输入交流电压为 380V，输出直流电压为 170V。整流器接线如图 2-5 所示。

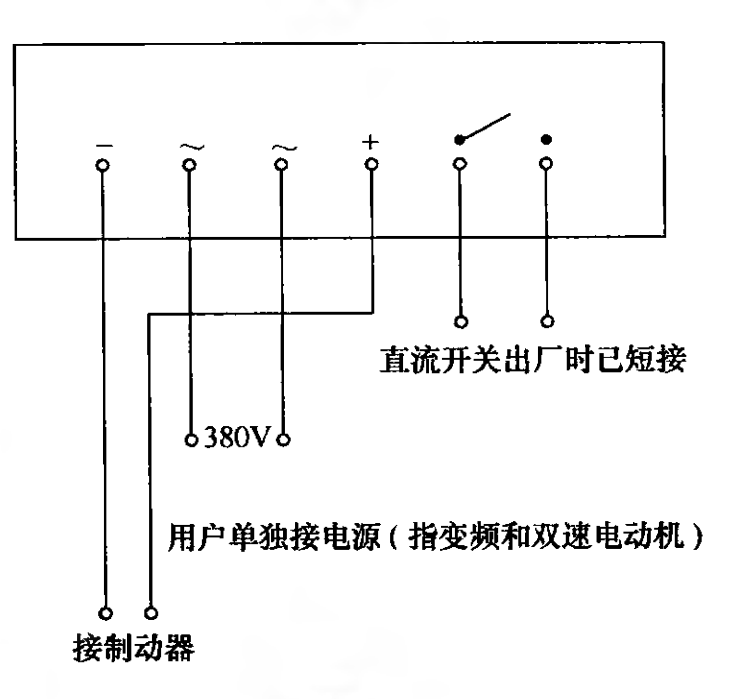


图 2-5　整流器接线图

九、现场运行条件

（1）海拔　不超过 1000m（如果在海拔超过 1000m 使用时，应按 GB 755 的规定处理）。

（2）湿度　最湿月份的月平均最高相对湿度为 95%，同时该月份平均最低温度不高于 25℃。

（3）环温　F 级绝缘适用于环境空气温度不超过 40℃的一般场所，H 级绝缘适用于环境空气温度不超过 60℃的场所，最低环境空气温度非防爆电机为 －15℃；防

爆电机为 −20℃，两种绝缘等级的电动机具有相同的技术参数（如果电动机指定在环境温度高于或低于上述规定使用时，应按 GB 755 的规定处理）。

（4）电压及频率　电动机运行期间电源电压和频率与额定值的偏差应符合 GB 755 的规定。

当使用条件变化时请与制造厂协商

第二节　起重及冶金用电动机的使用与维护

一、起重及冶金用电动机使用前的准备与检查

（1）电动机经长途运输或长期放置不使用的电机，使用前必须用 500V 绝缘电阻表，测量其定子绕组相间及绕组与机壳间的绝缘电阻，其值不得低于 10MΩ，否则电机必须干燥，直到绝缘电阻达到要求为止。方可使用。

不论采用何种干燥法，都必须注意在干燥过程中，绕组温度不超过 90℃（温度计法）。

（2）新的或长期放置未用的电动机，在安装前应首先进行机械检查，检查各部件是否装配完整，紧固螺栓是否有松动现象，内部如有灰尘或杂物，应清除干净，必要时可用干燥的压缩空气吹净，但不得用金属喷嘴，以免损坏绝缘。

（3）拆下轴承外盖，检查轴承，当润滑脂有污垢受潮、变质等现象时，必须用汽油（或煤油）将轴承清洗干净，然后加入新鲜的润滑脂，其数量应不超过轴承室内空间的 2/3 为适当，正常使用情况下，每半年更换一次润滑脂，推荐采用 SYB1412-75 ZL-2 锂基润滑脂。

（4）为了防止电动机锈蚀，在拆检后重新装配时，所有的配合面和带螺纹的紧固件（接地螺栓除外），可涂一层干净的防锈油后再行装配，并且所有的紧固件应附有弹簧垫圈以免自行松脱，装配后用手转动转子，电动机应能灵活转动。

（5）在轴伸上安装联轴器或齿轮时，必须先将轴伸端上的防锈层清洗干净，再行安装，在安装时应防止过重敲击，以免损坏轴承。

（6）电动机安装时，应校正两转轴中心线的相对位置，调整合格后，旋紧底脚螺栓，使其可靠地固定于基础上。

（7）电动机应设有内、外接地装置，并在附近标有接地符号，安装后应可靠接地。

（8）双轴伸电动机，对未使用的轴伸端，需拆下轴伸键，轴头螺母及垫圈后，罩好防护罩再起动。

（9）电动机接线后，应试接电源使其转动，检查旋转方向是否符合要求，否则可将其中任何两根电源线调换一下即可。

（10）在电动机安装完毕后，空转 3h～4h，情况良好再加入负载，并应检查电源的稳定性，当电源电压（频率为额定）与其额定值的偏差不超过 ±5% 或电源频率（电源电压为额定）与其额定值的偏差不超过 ±1% 时，电动机允许在额定状态下运行。但此时电动机的温升也允许超过其限值，超过的数值应不大于 10℃。

(11) 电动机的防护型式为封闭式结构，在运输中端盖上的盖板、出线盒盖及未用的出线口应盖好，以防止水、油、乳浊液等污物浸入电机内部。

(12) 电动机在使用期间，应按时进行清扫和检查。首先必须除去电动机表面上的泥土和尘埃或油污，用浸湿汽油的抹布把尘埃油污擦净。当绕线转子电机电刷磨掉原高度的2/3时，应按原尺寸及牌号进行更换。

更换电刷时对刷盒式结构，可把刷块装在刷盒内固定好，再把装好的刷盒（连刷块）固定在端盖内；对刷握式结构，可逐个把电刷固定在前端盖的电刷柱上。还应检查集电环的表面粗糙度细于 *Ra*6.3，电刷与集电环是否接触良好，以及弹簧压力是否正常。

二、起重及冶金用电动机的定期检查与维护

电动机在设计时就已考虑到，应保证电动机安全运行多年，并且尽可能地减少维护。但是不能设想不按时维修或忽视维修就能使电动机无故障地工作。

为了避免绕组击穿、严重的损坏和频繁的停机，应设有预防性维护检查一览表。这张表规定了电动机的运行情况和类似电动机的使用经验。为了保证适当的维护，要保存每一台电动机的完整记录，包括使用说明书、额定值、维护一览表、必要的修理及运行情况。

(1) 电动机应进行周期性地维护和检查

1) 电动机清洁，定子和转子的通风管路畅通无阻；

2) 负载不超过额定值和使用系数；

3) 线圈温升不超过额定值；

4) 绝缘电阻要大于推荐的最小值；

5) 电压、频率的变化应符合规定；

6) 轴承温度不超过表2-7中的停机值；

7) 没有异常的振动和噪声；

8) 必要零件的贮备及备用件库存一览表；

9) 对中数据（准确的对中的偏差，高温允许值）；

10) 正常检查结果（在“使用记录”中记录）；

11) 修理（在“使用记录”中记录）。

(2) 润滑数据

1) 使用方法；

2) 用于潮湿、干燥、热等场合的润滑脂型号；

3) 润滑脂和油的贮备；

4) 维护周期；

5) 对每台设备进行记录（在“使用记录”中记录）。

(3) 预防性维护　下面说明了预防性维护的几个重要项目，其余的情况将在有害的和异常的状态出现时附加讨论。应在规定周期内检查每台电动机。检查的次数和必要性取决于运行时间、使用性质和运行环境。

1）清洁度　电动机内部必须无油、无灰尘、无脏物、无水及其他化学物质。

2）负载　超载运行能引起过热和减少绝缘寿命。绕组温度超过其绝缘等级最大极限温度的10℃时，其绝缘寿命就要减少一半。

3）温度　在正常情况下，随着运行，电动机会变热，虽然有些地方手感很热，但电动机的热度还是在极限范围内，应该用热电阻或热电偶测线圈的温度。

测量线圈温度（而不是温升）是电动机安全运行的依据。如果是用嵌入绕组中的测温元件来测量温度，不应超过155℃。如果超过，则需对电动机的运行情况进行检查。

可根据用户需要，配置定子测温、轴承测温等测温元件。定子温度、轴承温度的报警值和停机值，应根据实际运行情况确定。推荐最高的定子温度、轴承温度报警值和停机值见表2-8。

表2-8　定子温度的报警值和停机值

	定子温度/℃		轴承温度/℃	
	F级	H级	F级	H级
报警值	145	170	90	110
停机值	150	175	95	115

4）绝缘电阻低　通常使用绝缘电阻表（兆欧表）来检查。当电动机额定电压小于或等于690V时选用1000V兆欧表。电动机绕组的绝缘电阻在冷态时，应不低于5MΩ。

5）振动　用肉眼或手感检查时，可以查觉大的问题。但最终结果要以仪器测量为准。检查内容如下：

元件有无松动和遗失，例如：平衡块、平衡垫、螺栓、螺钉、螺母、联轴器、键等。

风扇和转子有无脏物积累。

基础结构——底座、地基及与电动机的连接情况。如果结构刚性不足，能使振动加大。

连接设备——拆开设备，确定哪里是振源。

历史情况——首次振动发生在什么时候？设备的负载或功率有无变化？周围的振动有无变化？

通常，使用一段时间后振动发生变化比它的实际振动值更为重要。振动速度测量比测量振幅更能明显清晰地表明振动烈度。

（4）正常维护　要求正常维护的两个因素是电气和机械两方面。电气故障的第一个表现通常是绝缘电阻低。机械故障通常是轴承噪声过大或过热。

1）绝缘电阻低　通常引起绝缘电阻低的因素有：

①线圈脏（带油、灰尘、润滑脂、盐等）。

②过分潮湿。

③绝缘的机械损伤。

④绝缘热变质。

线圈脏可以清洗，湿度大可以烘干，而③项和④项则要到制造厂或专门的维修中心去修理。

2）清理　定期清理电动机内外，电动机实际使用情况决定了清理频度。清理时应遵循下列过程：

①擦去外部灰尘、脏物、油、水等。这些东西可能被带入绕组，引起过热并破坏绝缘性。

②除去通风口和排风口的脏物、灰尘及其他碎屑。在电动机运行时，空气通道不能阻塞或流通性不好。

用压力为0.07MPa～0.4MPa的清洁干燥压缩空气向电动机内部吹，对电动机进行清理，如果有条件，可以用真空吸尘器。

③转子清理　拆下转子，检查空气通道，清理阻塞和影响通风的东西。

④定子清理　绕组进行VPI真空压力浸渍无溶剂漆工艺的绝缘绕组，可以用快干溶剂和棉布擦拭或低压清洁蒸汽清理，然后将整个定子在90℃下烘烤6h。每次清理好的定子线圈，均应检查绝缘电阻值。

不是VPI绝缘系统的绕组，如在清洗电动机转子时，不推荐使用水和洗涤剂。应该使用溶剂清洗，这种溶剂与绝缘系统和烘干相适应。

3）绝缘电阻　要定期检查绝缘电阻，通常使用绝缘电阻表（兆欧表）来检查。当电动机额定电压小于或等于690V时选用1000V兆欧表。

电动机绕组的绝缘电阻在冷态时，应不低于5MΩ。

4）绝缘烘干　如果兆欧表读数小于5MΩ，其原因可能是线圈受潮所致，可用下列形式烘干：

①热空气烘干。

②加热器烘干。

此处的加热器不是指安装在电动机内部的防冷凝空间加热器，应是独立使用的功率较大的加热器，防冷凝空间加热器的功率较小，只有防冷凝作用，当线圈潮湿而使绝缘电阻降低时，起不到烘干作用。

③线圈通电烘干（已被水浸泡的电动机不能使用这种方法）。

绝缘烘干温度为120℃，要慢慢地加热，应先用90℃烘干大约6h（以防止蒸汽进入线圈），然后再慢慢升温到120℃。

在加热前，应先测绝缘电阻，此后每2h～3h测一次，观察绝缘电阻变化情况。

为了使电阻读数恒定，应使电动机温度均匀。当兆欧表读数恒定时，则烘干完成，停止烘干。如果读数始终偏低，须检查其他的原因。

空气加热炉烘干：

①拆下端盖。

②拆去转子。

③按绝缘烘干温度要求放入炉中烘烤。

加热器烘干：

①拆下端盖。

②拆去转子。

③用排风扇对准定子吹风，以带走潮气。

④将温度计放到线圈上，按绝缘烘干温度要求进行加热。

⑤不推荐使用辐射式加热器，因为远处零件尚未达到所要求的温度时，而有些元件有可能已被烤焦。

线圈通电烘干：

①拆下端盖。

②在定子铁心中确定转子的中心。

③将楔形绝缘条打进气隙，使转子碰不到定子铁心。

④将排风扇对准定子吹风，以带走潮气。

⑤将温度计装在线圈上，按绝缘烘干温度要求进行加热。

⑥用外部电源将电流直接通过电动机的线圈，使用电焊机很方便。

当在定子上使用这种方法时，如果定子所有相的两端均可接近，则定子的相间可以用串联和并联的方式连接，以适应所使用的电源。如果电动机只能伸出三个接头，那么电流可以在一个接头和两个连在一起的接头之间循环。如果采用这种接法，则要频繁检查每相绕组的温度，并经常改变导线连接，可以达到更好的效果。推荐使用的直流电压是每相额定电压的0.25%～5.0%，对应的功率是额定功率的0.5%～3.2%。

交流电用起来没有直流电那么容易，要获得所要求的电压更难控制，交流电的要求是，接近线圈额定电压的10%～30%。此外还要注意拿走邻近线圈的各个部件，例如，转子条，接头销、铁心的支撑件等。不要因为交流电感应而过热以及影响电动机的正常通风。

5）轴承　电动机轴承在运行期间，通过正确维护，使之对中良好、润滑性能良好，这样可以使轴承寿命延长。联轴器的不良对中能引起轴承超载，并产生过大的振动和推力。

更换的轴承可能是不同厂家的产品，但必须与原来的轴承相同。定购轴承时注意以下两点：

①用优质铭牌轴承，在轴承上应有标识（轴承型号见电动机上的轴承铭牌）。

②注意轴承的精度等级。

滚动轴承更换：

①拆下轴承外盖与轴承套之间的固定螺栓，拆下轴承外盖。

②拆下轴承套与端盖之间的固定螺栓（如果有），拆下端盖与机座之间的固定螺栓。

③在端盖外圈和内圈的顶丝孔中用顶丝拆下端盖。

④用拔具拆下轴承套。

⑤拆下挡油环外的轴用挡圈。

⑥将挡油环加热后拆下。

⑦用轴承拔具将轴承内圈从轴上取下来（见图2-6）。

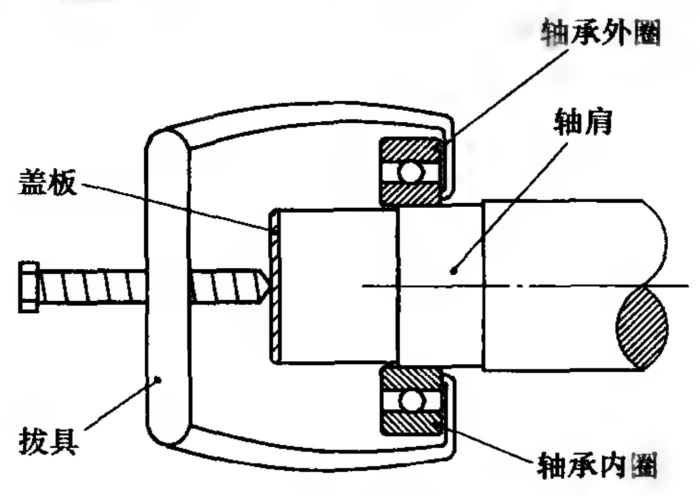


图2-6 用拔具拆卸轴承

⑧用千分尺检查轴径尺寸是否正确。

⑨用烘箱或感应加热器将新轴承加热到95℃ ±5℃，加热后将轴承套在轴上，使轴承内圈紧紧靠在轴肩上，不准敲击轴承。

⑩让轴承冷却下来，向轴承室中加清洁的润滑脂，加入的润滑脂的量是轴承室净容积的1/2（两极电动机）或2/3（四级及以上电动机）。

⑪重新装配轴承套和端盖。

第三章　电动机常见故障的分析与处理方法

起重冶金用电动机，目前在役的产品中仍以20世纪80年代投放市场的YZR、YZ系列为主（见图3-1）。其后设计的YZR2、YZ2及YZR3、YZ3，在市场覆盖率上均小于YZR、YZ。就总体结构特征而言，后两者与前者均无较大差异。因此，本章仍以YZR、YZ系列为主，包括由它们派生的产品，阐述故障产生的原因及处理方法。

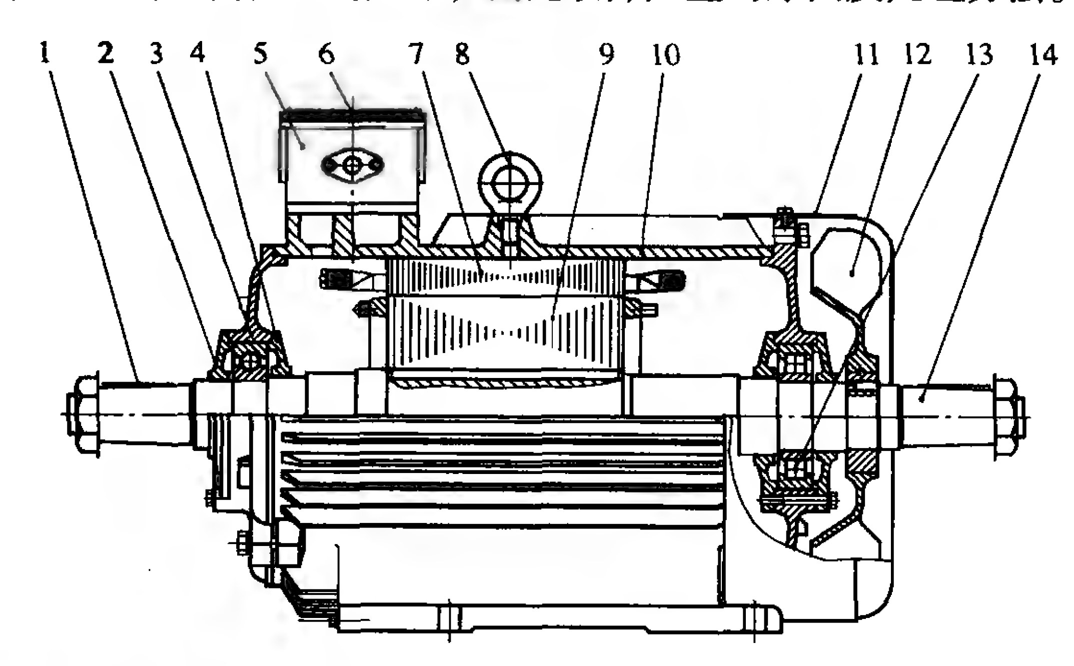


图3-1　YZ电动机结构图

1—键　2—轴承外盖　3—端盖　4—轴承内盖　5—接线盒　6—接线盒盖　7—定子　8—吊环　9—转子　10—机座　11—风罩　12—风扇　13—轴承　14—转轴

起重冶金用电动机，因其使用的场所、工况差异较大，虽然YZR、YZ是Y系列的派生产品，但若以YZR、YZ作为基本系列，仍然派生出较多的产品。但就故障而言，以YZR、YZ代表的共性问题较多，见表3-1。对于结构上具有代表性的几个专用系列的常见故障问题，见表3-2。这些典型的派生产品是：

1. YZRE、YZE系列盘式制动电动机；
2. YZRW（含WZ）系列涡流制动电动机；
3. YTD、YYTD系列电梯用电动机；
4. YZP系列变频调速电动机；
5. YEZX（含ZD、ZDM、YHZ、YHZY、YHZS）系列起重用锥形转子电动机；
6. YZTDE、YZDE系列塔吊用电动机；
7. YBZ系列起重冶金用防爆电动机。

第一节 起重及冶金用电动机的常见故障（共性部分）

本节以 YZR、YZ 系列为例阐述起重冶金用电动机常见故障中的共性部分，见表 3-1。

表 3-1 起重冶金用电动机常见故障及处理方法

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	绝缘电阻低	(1) 绕组受潮 (2) 绕组上灰尘、油垢太多 (3) 引线接地	(1) 用不超过额定电流 2 倍的低压大电流加热烘干 (2) 尺寸较小的电机可在烘箱中将定子加热烘干 将紫外线灯炮置于定子内径中烘干 若污垢较多，用洗涤剂（如按 4:6 质量比配制的 200 号汽油与二氯甲烷的混合剂）冲洗后再烘干 (3) 若引接线接地，局部包扎后将引线重新固定
2	三相电流不平衡，每相电流与三相电流平均值相比，超过平均值的 10%	(1) 三相绕组匝数不相等 (2) 个别线圈接反 (3) 绕组断路或轻微短路，电气连接不正常 (4) 三相电源电压不平衡，三相电流也不平衡 (5) 对于绕线转子电动机，转子侧出现上述问题，也会使定子三相电流不平衡，若集电环处接触不良，同样也会影响定子的三相电流的平衡	(1) 检测每相直流电阻 (2) 用指南针沿铁心槽上检查，若每个极相组上指针的指示方向依次改变则表示接线正确，否则，表明某极相组接反，若同一极相组的邻近几个槽上，指南针的方向变化不定，说明该极相组有个别线圈接错 (3) 用排除法，查接线盒及电动机引接线，若无问题再查连接部位是否有开焊现象 (4) 检查电源，使其符合要求 (5) 正常情况下，三相电阻与平均值的最大差值应不超过其平均值的 3%，按此规定核查定、转子绕组及碳刷与集电环接触状况
3	绕线转子电动机转子侧开路	(1) 并头套开焊 (2) 引线开焊	(1) 用氩弧焊或熔点较高的焊料，如银焊条焊牢 (2) 引线焊牢固定后应有防松措施

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
4	电动机不能起动或起动困难	（1）电动机单相运行 1）电源开关至定子绕组引线电缆头接触不良 2）接线端子松动 3）起动设备连接有误 （2）电源电压过低 1）供电电缆截面小，线路压降大 2）网络电源不标准 （3）被拖动的机械设备被卡住 （4）长期放置的电动机的轴承润滑脂干涸 （5）定子绕组断路 （6）电动机绕组的线圈接反或相出线首尾接反 （7）绕线转子电动机转子回路串的电阻值偏小 （8）碳刷与集电环接触不良 （9）笼型转子断条 （10）气隙不均匀，单边磁拉力过大	1）清除电气接触部分的油污、灰尘、氧化物等 2）加防松件，如加弹簧垫圈后，拧紧 3）按说明书仔细核对 1）加大电缆截面积 2）在电动机接线端子处测量送电电压，该电压值的下偏差应符合电动机说明书或供需双方签定的技术协议书的规定 （3）排除机械故障 （4）清理后重新加润滑脂 （5）查出后重新接好 （6）给绕组通直流电，用指南针核查极性，查出后重新接好，使三相绕组引出线相互间彼此相差120°电角度 （7）将重新核算需要串入的电阻值，接入转子回路中 （8）研磨碳刷，使其与集电环外径匹配 （9）重换转子 （10）重换转子，使电动机的定、转子同轴度符合规定 若气隙仍小，将转子外圆适当地车小一点点
5	绕组匝间短路	（1）过电压或高次谐波冲击 （2）电动机绕组受潮 （3）匝间绝缘薄弱	（1）电动机的供电系统中加过电压（含冲击电压）继电保护元件 （2）对绕组进行烘干处理 （3）散线绕组主要靠加强导线本身的绝缘，如选用厚漆膜电磁线 对于成型绕组可选用亚胺膜半叠包，双玻璃丝包线，端部加匝间垫条或隔匝包等措施 对于湿热带、防腐蚀电机应按特殊环境的需要对匝间绝缘予以特殊处理，如选用固体含量高的浸渍漆；容易吸敷绝缘漆的玻璃丝包线等措施

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
6	绕组相间短路	(1) 电机本身断相 (2) 供电系统断相 (3) 相间绝缘没垫好 (4) 污物、焊锡瘤等落入相间	(1) 将绕组局部加热至130℃左右，用磨削后的环氧玻璃布板将损坏部份挑开，焊好后，进行局部包扎，加垫绝缘，然后涂漆烘干 (2) 借助继电保护，防止断相时对电动机的伤害 (3)、(4) 处理方法同(1)
7	绕组接地或绝缘电阻接近零	(1) 绕组受冷凝水浸泡 (2) 绝缘损坏，绕组在铁芯处接地 (3) 线圈烧损	(1) 清理后烘干 (2) 同6，将绕组局部加热后补上缺损的绝缘，然后涂漆烘干 (3) 更换部份线圈(绝缘处理与正常产品基本相同)
8	电动机过热	(1) 长时间过负荷 (2) 工作制选择不当 (3) 冷却效果不好 (4) 海拔或环境温度超过电动机的允许值 (5) 电动机局部产生故障，如匝间短路、单相运行等 (6) 鼠笼电动机因转子细、断条过热，致使定子被烤热	(1) 电压波动不宜超过规定范围，电动机不要长时间过载 (2) 应按使用说明书选型 (3) 排除风路故障 清理机壳表面污垢 改进通风元件，如风罩、风扇，应参照同类产品，择优选用 (4) 改用适于高海拔或环境温度大于40℃的电动机，或者选用功率稍大的电动机"大马拉小车" (5) 排除故障，方法同上述 (6) 更换有缺陷的铸铝转子
9	接线盒接线端子处过热	(1) 电缆或接线头的截面积偏小 (2) 接线时没拧紧 (3) 连接处有污垢或氧化层使接触电阻增大	(1) 改用大截面的 (2) 若弹簧垫圈丢失，补上后重新拧紧 (3) 清理电接触部份的表面

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
10	轴承过热	(1) 轴承装的不正,有别劲现象 (2) 润滑脂过多 (3) 润滑脂流失 (4) 润滑脂干涸 (5) 轴承保持架损坏 (6) 绕组热辐射 (7) 选用了伪劣轴承 (8) 轴承外套与轴承室间出现过盈	(1) 校正有关零部件的同轴度 (2) 应按说明书要求填加适量的润滑脂,如轴承净容积的2/3 (3) 同上 (4) 同上 (5) 换新轴承 (6) 改善轴承处散热状况,如远离绕组,与轴承相配的零件加散热筋 (7) 改用名牌轴承,安装前应检查尺寸公差、游隙,合格后再装到电机上 (8) 修理轴承室,轴承装人后尽量不要产生过盈
11	电动机空转时产生不正常的响声	(1) 轴承响 (2) 转子轴向窜动 (3) 电动机断相运行,三相电流不平衡	(1) 换合格的轴承 (2) 拆开后核对尺寸链,将不合格的零部件更换 (3) 停机检查,处理方法见“2”
12	绕线转子电动机绕组端甩开	(1) 端部绑扎不牢 (2) 超速开关或机械抱闸失灵	(1) 无纬玻璃丝带不仅缠绕的层数要正确,绑扎时务必要拉紧 绑扎后浸漆、烘干的质量应有严格的监测、检查措施 端部绑扎应将工作时超速的状况考虑在内 (2) 选用合格的超速开关及机械抱闸装置
13	绕线转子电动机转子绕组大面积烧损	(1) 成型绕组并头套开焊 (2) 碳刷在刷握中卡住,不能与集电环接触 (3) 转子绕组与集电环连接不牢	(1) 并头套处宜采用先进的氩弧焊工艺 (2) 更换结构较好的碳刷 集电环处密封性要好,尽管如此,也要经常清理,察看碳刷的工作状态,以防污垢阻碍碳刷的正常工作 (3) 绕组引线线鼻子与集电环引出的汇流牌连接后应有机械防松措施,如加弹簧垫圈
14	熔断器熔断体断开	(1) 故障状态下(如单相)起动,起动电流过大 (2) 开关与定子引线间有短路现象 (3) 定子绕组有接地或匝间短路现象 (4) 负载过大或有机械故障 (5) 熔体小	(1) 电动机起动前应仔细检查相关的线路及继电保护系统是否处于完好的状态下 (2) 同上 (3) 电动机起动前应有必要的测试项目,无误后再合闸 (4) 排除机械故障,控制负荷的大小,不要超越的太多 (5) 更换合适的熔断器

第二节 由 YZR、YZ 派生的 7 种典型专用系列电动机的常见故障

一、6 种典型专用系列电动机的常见故障

YZR、YZ 派生的用于特殊场所的 7 种典型专用系列电动机在电磁结构上与 YZR、YZ 相比均有些变化，其中 6 种的常见故障及处理方法见表 3-2。

表 3-2 6 种典型专用系列电动机常见故障及处理方法

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1. YZRE、YZE 系列盘式制动电动机			

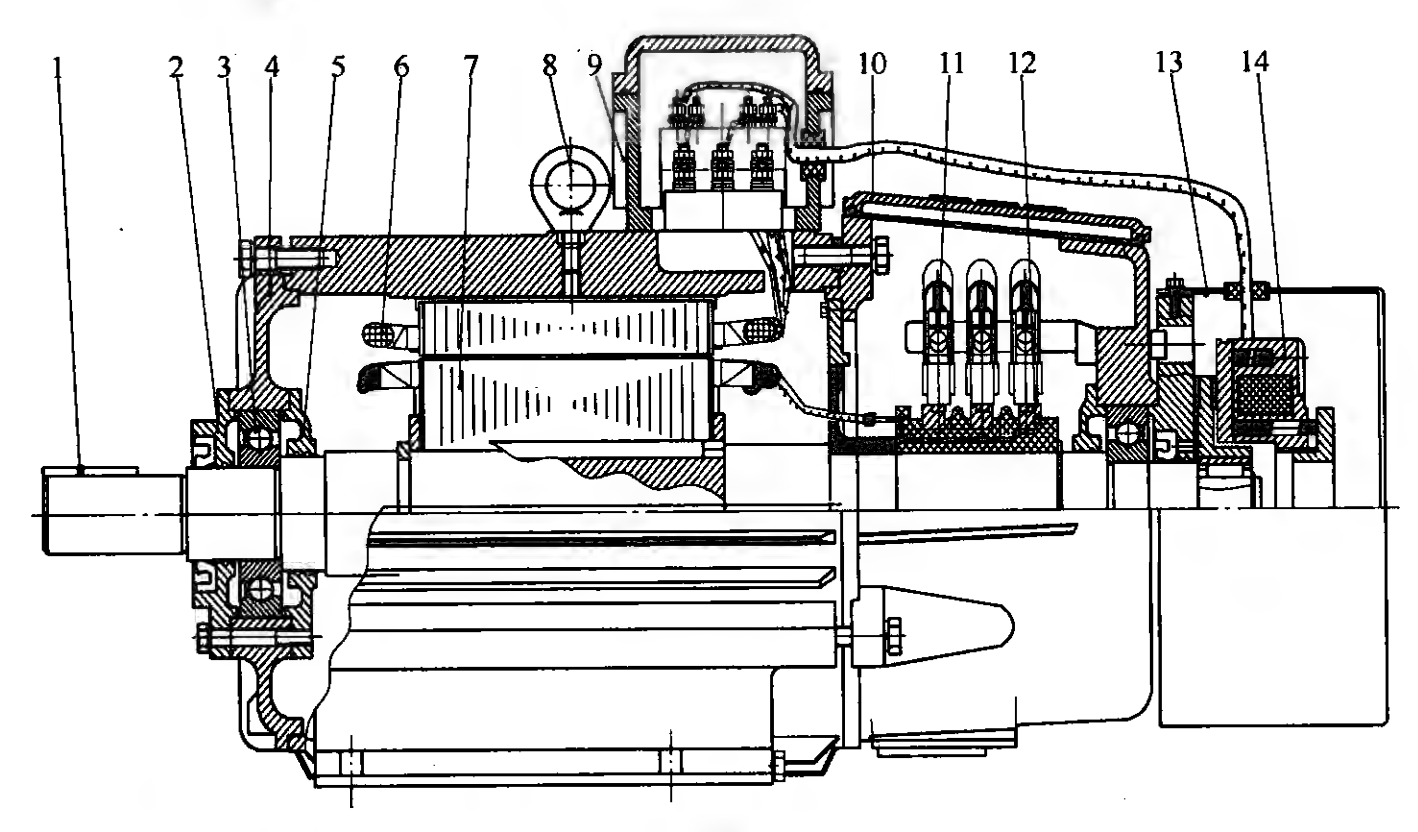


图 3-2 YZRE 盘式制动电动机

1—键 2—轴承外盖 3—轴承 4—端盖 5—轴承内盖 6—定子 7—转子 8—吊环 9—接线盒 10—观察窗盖 11—刷握 12—集电环 13—防护罩 14—制动器

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(1)	制动器没打开	(1) 制动器线圈出现故障 (2) 转动制动盘，在花键轴套上不能活动 (3) 动静制动面不能脱开	(1) 检查是否断路 (2) 清除产生的机械故障，如锈蚀、污垢或配合公差是否符合规定 (3) 同上，清除机械故障 在一个制动面上，开出相互差 120°、深约 0.5~0.8mm 的三个沟槽，以含住微量的润滑剂
(2)	电动机起重物下滑量大	(1) 制动的动作慢	(1) 在整流装置的快速制动接线端子上接入快速制动元件

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(3)	电动机制动不可靠	(1) 制动弹簧压力不够 (2) 制动片上有油污 (3) 电动机超载 (4) 制动片松脱 (5) 制动器电源未断掉 (6) 弹簧压缩长度未达到要求	(1) 更换压力大的弹簧 (2) 拆下清除干净 (3) 调整负载 (4) 用环氧胶粘牢 (5) 适时断开制动器电源 (6) 调整压缩弹簧螺母，使之达到要求
(4)	电动机运转有噪声	(1) 制动片脱落 (2) 制动器电源断相	(1) 将制动片粘牢 (2) 检查有关部位，如线圈、整流器，按要求修复
(5)	电动机不运转	(1) 制动器间隙过大 (2) 弹簧压力过大，或弹簧压至极限状态 (3) 制动器未通电	(1) 调整制动器间隙，以合格为度 (2) 调小弹簧压力，或调换弹簧，调换后必须保证足够的制动力矩 (3) 检查线路是否断相；检查整流器是否完好
(6)	电动机制动时间过长	(1) 制动间隙过大 (2) 整流器损坏	(1) 调整制动片间隙 (2) 调换整流器

2. YZRW 系列涡流制动电动机、WZ 系列涡流制动器

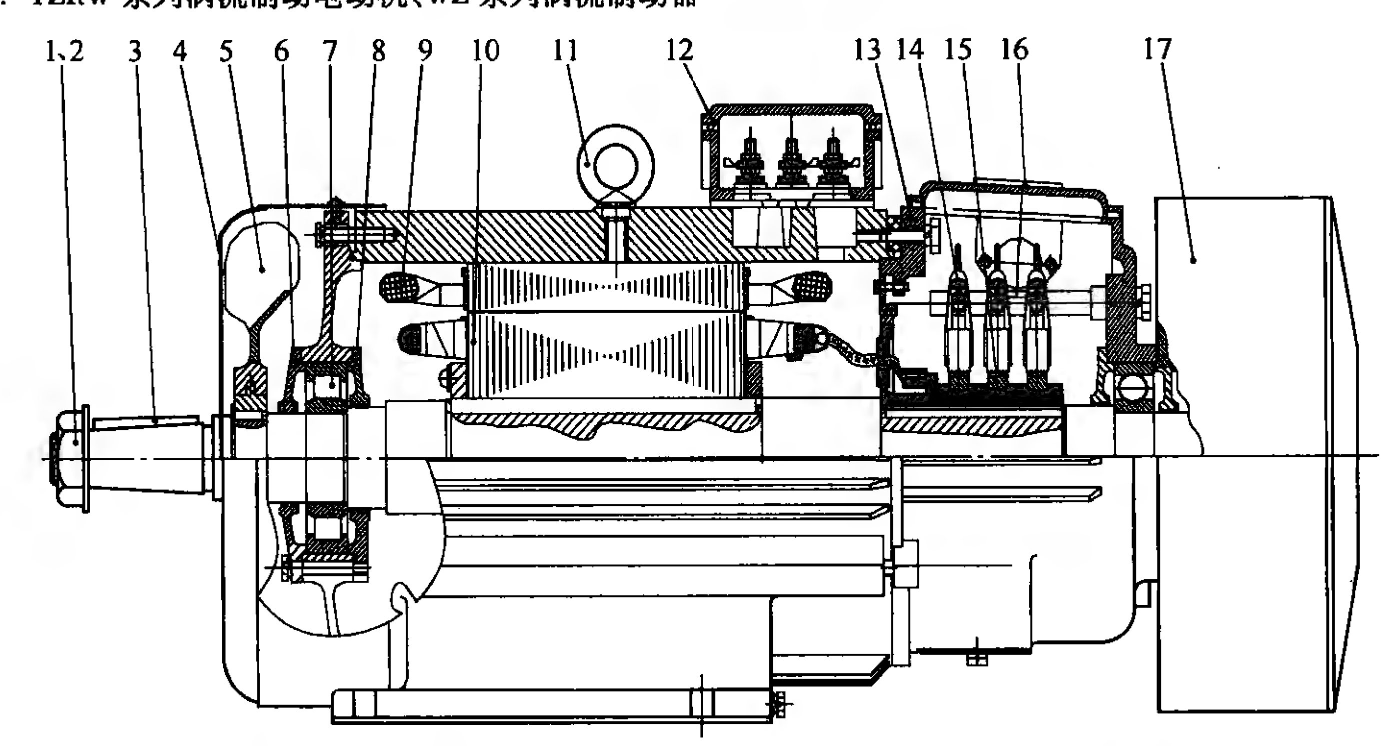


图 3-3 YZRW 涡流制动电动机结构图

1—螺母 2—垫圈 3—键 4—风罩 5—风扇 6—轴承外盖 7—轴承 8—轴承内盖 9—定子 10—转子 11—吊环 12—接线盒 13—端盖 14—刷握 15—集电环 16—观察窗盖 17—涡流制动器

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(1)	电动机经常过热	(1) 涡流制动器与电动机匹配不合适	(1) 核对电磁参数，改用匹配合适的绕组、铁心
(2)	励磁绕组不能正常工作	(1) 直流电源故障 (2) 励磁绕组的电磁参数，如匝数、铁心尺寸不合适	(1) 排除直流电源及线路出现障碍之处 (2) 励磁绕组的电磁参数的选择应充分考虑工作中出现短时过载的状况（因该产品过载后发热极快）

3. YTD、YYTD 系列电梯用电动机

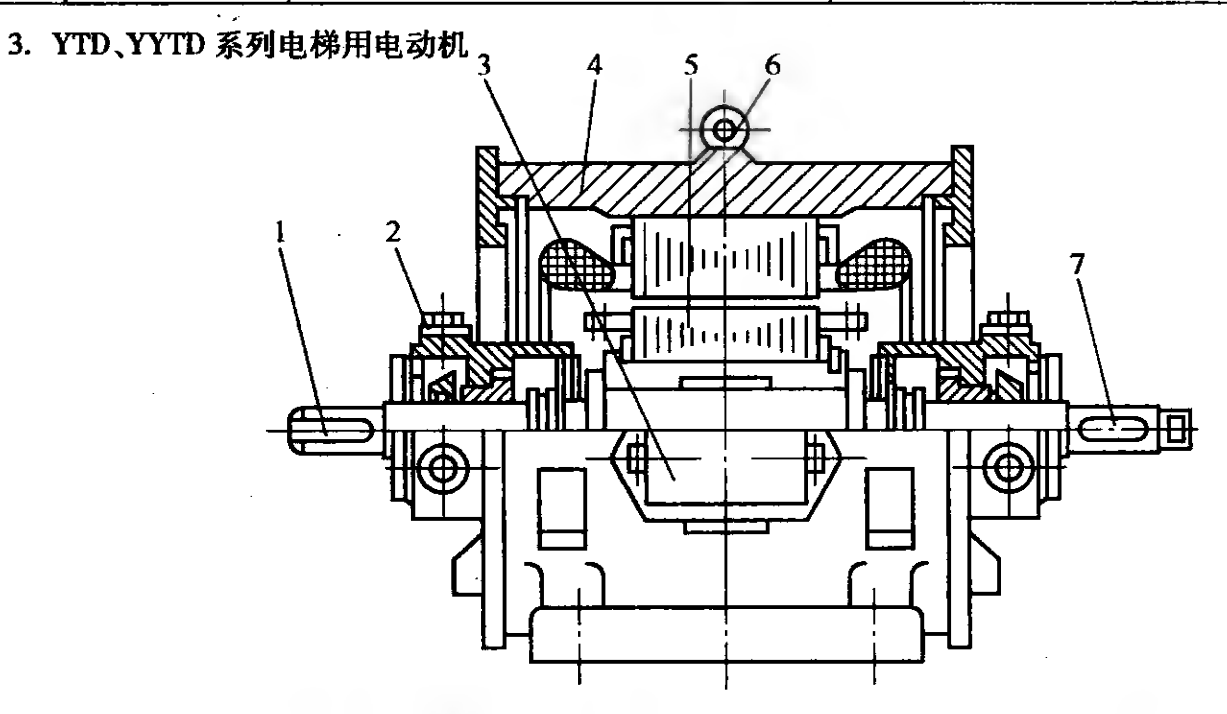


图 3-4　YTD 系列电梯用电动机结构图

1—键　2—端盖　3—接线盒　4—定子　5—转子　6—吊环　7—键

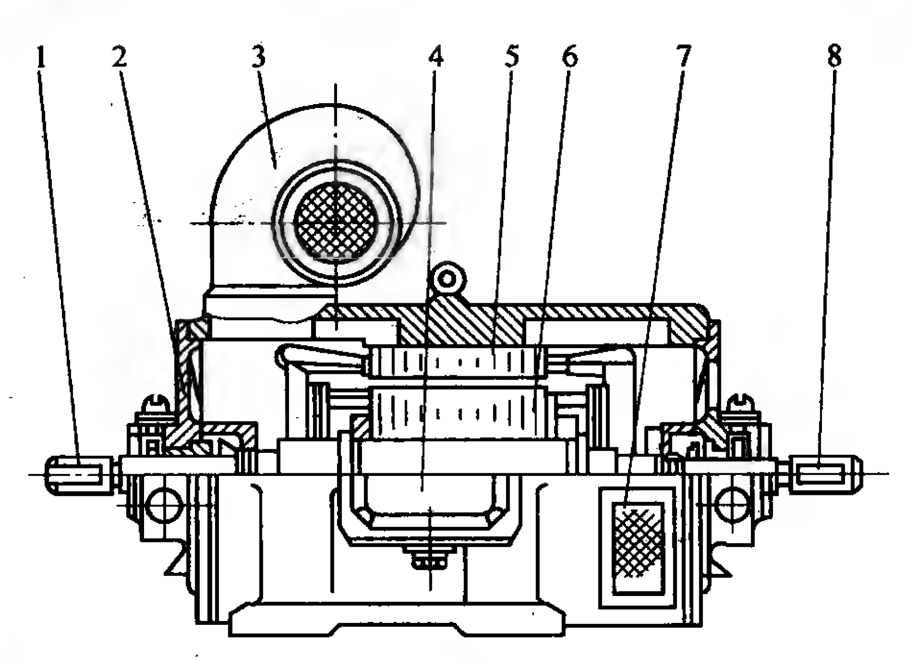


图 3-5　YYTD、YTD1 系列电梯用电动机结构图

1—键　2—端盖　3—风机　4—接线盒　5—定子　6—转子　7—窗板　8—键

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(1)	电动机空载不能起动	(1)电源有一相断路或一相熔丝烧断 (2)Y接定子绕组有一相断路	(1)检查电源和熔断丝的每相电压 (2)测量定子绕组每相电阻
(2)	电动机发热	(1)一相熔丝烧断或电源有一相断路 (2)电源电压过高或过低 (3)超载或起动频繁 (4)匝间或相间短路 (5)定、转子相擦 (6)YYTD、YTDI系列电机自带风机的转向相反	(1)同上 (2)调整电源电压，或者改用功率稍大的电动机 (3)调整负载或使电动机按规定定额使用改用稍大的电动机 (4)见表3-1 (5)拆检、修复 (6)改变风机旋转方向
(3)	电动机停滞于低速并发出响声	(1)定子绕组有一相接反 (2)转子断条	(1)检查接线，纠正线端标志 (2)用测量空载电流的办法核实后更换转子

4. YZP系列变频调速电动机

变频调速电动机与普通YZ系列电动机的主要区别是：

1）电动机要备一套变频器（亦称逆变器）作为该种电动机一个不可缺少的组成部分装在电动机的适当部位（通常装在上部）上；

2）功率较大的变频调速电动机，有时要另外加一个小风机，将电动机冷却方式变为“他冷”式。

3）电磁设计上，按照变频调速的工作特点，在某些参数的设置上则与普通电机不同。

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(1)	电动机噪声、振动大	(1)变频器载波频率设置的不合理 (2)在整个频率范围内某一点上的振动值偏大	(1)应按变频器使用说明书设置 (2)电动机设计时存在的缺陷，从设计上入手改进 某一频率点与电动机固有频率接近共振点，在设置变频器频率时可将此点跳过，若该点是经常使用的频率点，可将载波频率重新设置，使振动频率点改变，将此值跳过
(2)	矢量控制时，电动机不能优化，即定子电流无法分成转矩电流和励磁电流	(1)气隙磁场不对称	(1)复查设计上是否存在问题 检查零部件加工精度，将不合格件更换

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(3)	定子绕组烧毁	(1) 由于绕组受电压变化率 du/dt 的冲击，容易使匝间、相间产生短路 (2) 若电动机与变频器之间连线过长或布线不合理，则电缆的分布电量和线间电容的作用不可忽视。此电容和电动机之间的漏磁电量之间有可能接近谐振点而导致电动机输入电压增高，使绕组损坏，或运行中发生振动	(1) 适当加强匝间、相间绝缘 (2) 在变频器输入端接入输出电抗器，当电动机容量较小，距变频器又不远时，可将变频器三根输出线按同一方向一起绕制在高频磁芯上，并选用屏蔽电缆
(4)	轴承损坏	(1) 轴电流（变频调速电动机的轴电流比普通电动机要大）使轴承滚动体及内外套工作面上产生电蚀麻点	(1) 使电动机磁路尽量对称分布 在与轴承相配合的零件，如端盖上加绝缘层，切断轴电流回路 抑制高频电压的产生
(5)	温升高	(1) 电动机过载 (2) 电动机过安装系数选得小（变频器供电谐波含量高，损耗比普通电动机大） (3) 起动电流（亦称堵转电流）的设计值偏大	(1) 使用中注意，不要使电动机长期过负荷运行 (2) 选用变频调速电动机时，应适当提高过安装系数，可在正常产品上乘上 1.1 左右的系数。比如：当电动机拖动的负荷的轴功率为 100kW，若正常电动机选用 110kW 时，选用变频调速电动机时宜选用 120kW 左右的 (3) 对于变频调速电动机，堵转电流/额定电流，即堵转电流倍数≈2～3 即可（正常电动机，此值≈5～7）。否则，在频繁起动状态下，电动机蒙受多次较大电流的冲击，势必使温升增高
(6)	将提升的重物下落制动时，下滑量大	(1) 制动力矩小 (2) 提升机构不完善	(1) 增加制动力距 (2) 变频调速电动机在零速(0Hz)时，仍能有额定力矩在暂时停稳后实现抱闸停车，或打开抱闸再提升，可将提升机构采用矢量控制

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
5. YEZX（含ZD、ZDM、YHZ、YHZY、YHZS）系列起重用锥形转子电动机			
(1)	电动机制动不可靠	(1) 制动弹簧压力不够 (2) 制动环上有油污 (3) 电动机超载 (4) 制动片（环）松脱 (5) 制动弹簧损坏 (6) 制动片（环）与端盖接触不良 (7) 制动环磨损 (8) 风扇制动轮与端盖间隙大 (9) 弹簧长度未达到压缩要求	(1) 更换压力大的弹簧 (2) 拆下清洗干净 (3) 调整负荷 (4)用环氧胶粘牢 (5) 更换原规格弹簧 (6) 重新加工制动片（环） (7) 更换制动环或紧固轴端锁紧螺母 (8) 紧固轴端锁紧螺母 (9)在弹簧附近加调整垫片
(2)	电动机的转子与定子相擦	(1) 定子和转子轴向发生位移 (2) 轴承损坏 (3) 制动弹簧压力小或已疲劳损坏 (4) 转子有轴向相对位移	(1) 修复定转子轴向位置 (2) 更换轴承 (3) 更换弹簧 (4) 拆下后修复合格
(3)	电动机温升高或有局部冒烟现象	(1) 电源电压过高或过低 (2) 电动机过载或起动、制动过于频繁 (3) 制动片（环）未完全脱开 (4) 定、转子相擦 (5) 定子接线错误 (6) 电动机单相运行	(1) 电压应调整到技术文件允许的波动范围内 (2) 调整电动机负载，使其符合额定工作制（包括起动次数） (3) 重新调整制动片（环）与端盖之间的间隙 (4) 同序号(2) (5) 查找后，纠正接错之处 (6) 切断电源后检查绕组是否断路或电源是否断相，然后修复

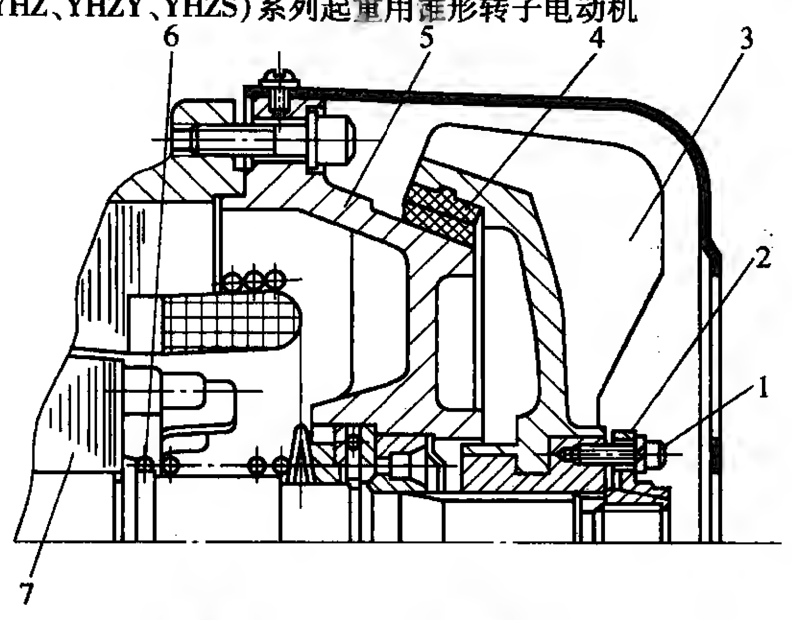


图3-6　锥形转子电动机调整制动力矩示意

1—螺钉　2—锁紧螺母　3—风扇制动轮　4—制动环　5—电机后端盖
6—制动弹簧　7—锥形转子

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
(4)	电动机难以起动，加上负载后转速达不到额定值	(1) 电源电压低，或某相断路 (2) 定、转子相擦 (3) 制动轮与端盖未脱开 (4) 定子引线首尾接错 (5) 电动机过载 (6) 转子绕组或端环断裂 (7) 电动机轴承损坏	(1) 调整电压，检查是否断相 (2) 同序号(2) (3) 同序号(3) (4) 用万用表检查后，重接 (5) 同序号(3) (6) 查出故障点后进行补焊或更换转子 (7) 更换轴承
(5)	电动机运转时有异常噪声和振动	(1) 单相运转 (2) 定、转子相擦 (3) 轴承缺油或损坏 (4) 转子或风扇制动轮不平衡 (5) 电动机接线错误	(1) 检查电源、绕组，按常规修复 (2) 同序号(2) (3) 补充润滑脂或更换轴承 (4) 将风扇制动轮装到转子上与转子一起校动平衡 (5) 同序号(3)
6. YZDE 系列塔吊用电动机			
(1)	电源接通后电动机不起动	(1) 制动器线路未通电或断路	(1) 查明后接通
(2)	电动机起动后转速高于或低于额定转速	(1) 定子接线错误，如丫、△接错	(1) 按技术文件规定重接
(3)	定、转子相擦	(1) 低速绕组的定子与转子的单边间隙较小	(1) 为安全运行，应适当加大气隙（车转子外径）

二、防爆起重电动机防爆性能要求和修理方法

防爆电气设备（也包括电动机）为了满足防爆性能、安全运行选取的防爆型式有所不同，目前防爆起重机配置的防爆电动机的型式为隔爆型一种，本节只针对隔爆型防爆电动机的防爆标志 dⅡBT4 进行介绍。

1. 隔爆原理及防爆性能的构成

（1）电动机的隔爆外壳由机座、端盖、轴承内外盖、轴贯通部分构成隔爆外壳的主腔，还有接线盒盖和接线盒座加上电缆引入装置构成隔爆接线盒腔，电缆引入装置，由密封圈、平金属垫片和压紧螺母组成。

隔爆外壳是电气设备的一种防爆型式，其外壳能承受通过外壳任何接合面或结构间隙渗透到外壳内部的可燃性爆炸混合物在内部爆炸而不损坏，并且不会引起外部由一种或多种气体或蒸气形成的爆炸性环境的点燃爆炸。

（2）隔爆原理　组成隔爆外壳的不同部件都是由相对应的表面配合在一起的（该

配合面称隔爆接合面），同时还有间隙，当电气设备处在爆炸性环境中，可燃性气体或蒸气与空气构成混合物很容易进入外壳内部，在壳内点燃该混合物时，火焰和高温从外壳表面配合面间隙窜到外部，而不能点燃外部爆炸性气体环境，这就是隔爆原理。

隔爆接合面的长度、表面粗糙度和配合间隙在符合标准规定时，可以消弱引燃产生的能量而不至于点燃外部爆炸性气体混合物。

（3）对隔爆型的防爆性能要求　隔爆型电动机电气部分故障现象、产生原因及处理方法与普能电机相同；隔爆性能部分的检修满足以下要求即可。

1）隔爆结合面长度、宽度表面粗糙度及配合间隙称隔爆面三要素。

- 表面粗糙度应为$\overset{63}{\triangledown}$，轴为$\overset{32}{\triangledown}$。
- 隔爆结合面长度与间隙见表3-3。

表3-3　ⅡB外壳隔爆接合面的最小宽度和最大间隙

接合面宽度 L mm	与外壳容积 V/cm³ 对应最大间隙①		
	$V \leqslant 100$	$100 < V \leqslant 2000 >$	$V > 2000$
平面接合面和止口接合面②			
$6 \leqslant L < 9.5$	0.20	—	—
$9.5 \leqslant L < 12.5$	0.20	—	—
$12.5 \leqslant L < 25$	0.20	0.20	0.150
$L \geqslant 25$	0.20	0.20	0.20
操纵杆和轴③			
$6 \leqslant L < 12.5$	0.20	—	—
$12.5 \leqslant L < 25$	0.20	0.20	0.150
$L \geqslant 25$	0.20	0.20	0.20
滑动轴承的转轴④			
$6 \leqslant L < 12.5$	0.20	—	—
$12.5 \leqslant L < 25$	0.250	0.20	0.150
$25 \leqslant L < 40$	0.30	0.250	0.20
$L \geqslant 40$	0.40	0.30	0.250
带滚动轴承的转轴⑤			
$6 \leqslant L < 12.5$	0.30	—	—
$12.5 \leqslant L < 25$	0.40	0.30	0.20
$25 \leqslant L < 40$	0.45	0.40	0.30
$L \geqslant 40$	0.60	0.450	0.40

① 对于操纵杆、轴孔和转轴，其间隙是指最大直径差。

② 对于$L \geqslant 9.5$mm，间隙$\leqslant 0.040$mm，外壳容积不超过5800cm³的只适用于平面接合面，对于其他接合面无容积限制。

③ 如果操纵杆或直径大于本表所规定的接合面最小宽度，其接合面宽度应不小于操纵杆或轴的直径，但不必大于25mm。

④ 如果转轴的直径大于本表所规定的接合面最小宽度，当转轴直径不大于25mm时，L应不小于转轴直径；当转轴径大于25mm时，L应不小于25mm。

⑤ 单边间隙应不超过滑动轴承所允许的直径差，即不得超过轴承盖的允许最大间隙的三分之二。

2）隔爆面不能涂漆及油，不得锈蚀。

3）引入装置中的密封圈内外径必须符合要求，内孔必须与电缆外径相符，否则在拧压紧螺母时仍有间隙，会失去防爆性能，密封圈外径与壳体及内孔与电缆外径之间，必须没有间隙才能保证防爆性能。

4）组成隔爆外壳的部件在长期使用后，出现损伤面的修复，见表3-4。

①隔爆面有轻微锈蚀时，用细砂纸消除。

②隔爆面锈蚀严重，清理后有深坑或磕碰等情况时按下列规定处理。

在规定接合面长度 L 及螺孔至隔爆面边缘最小长度 $L1$ 范围内，如发现有以下缺陷可不修复：

- 局部出现直径不大于1.0mm，深度不大于1.0mm的砂眼，在长度40mm和25mm的隔爆面上，每平方厘米不超过5个，长度 L 为12.5mm的隔爆面上，每平方厘米不超过2个。
- 偶然的机械伤痕宽度和深度不超过0.5mm时，其无伤隔爆面有效长度不小于规定长度 L 的三分之二，但伤痕高出表面凸出部分时应磨平。

表3-4 允许修复连续无伤隔爆面的有效长度 (mm)

L或$L1$	40.0	25.0	15.0	12.5	8.0
L'	20.0	13.0	8.0	5.0	5.0

- 静止隔爆结合面，在 L 和 $L1$ 的范围内，具有一段连续无伤隔爆面的有效长度 L' 不小于表3-4的规定时，允许用修补法修复。
- 凡下列情况之一者，不允许用修补方法修复：螺孔周围5.0mm范围内缺陷；L 或 $L1$ 为6.0mm范围内缺陷；隔爆面边角处；活动隔爆结合面；隔爆面有疏松的铸件；隔爆面上有裂纹。

③修补方法

- 熔焊；
- 硬钎焊；
- 胶粘剂调入金属粉粘补；
- 用机械加工方法修复，修复后隔爆面参数应符合规定；
- 如果隔爆结合面间隙过大，可以用重镀金属修复某一件。

④外壳的修复。允许局部补焊，焊后应消除应力，进行水压试验，应能承受表3-5压力值不变形及渗水。

表3-5 修理后水压试验的试验压力

外壳容积 V/cm^3	防爆、级别	$V \leq 500$	$500 < V \leq 2000$	$2000 < V$
试验压力/MPa	ⅡA、ⅡB	0.60	0.80	1.00

2. 电气设备修理的标志

（1）标志内容　不影响电气设备防爆性能的修理时不加修理标志，需要加修理标志时，标志内容：有关符号；标准代号 GB3638. 13—1997；修理合格证编号；修理单位名称；修理日期。

再次修理后可以将以前标志牌去掉。

（2）符号

1）设备安全符合标准规定时，也符合合格证文件时，须采用标志：R

2）当设备安全符合标准规定，但不符合合格证文件的要求时应采用标志：R

第三节　集电环、电刷的故障与修理

绕线转子起重冶金用电动机，其集电环、碳刷部分的故障在整个电动机的故障中占的比例较大，故单列一节予以阐述，见表3-6。

一、集电环的故障与修理

目前，国内在役的绕线转子电动机的集电环主要有套筒式、压塑料式两种，见图3-7、3-8所示。

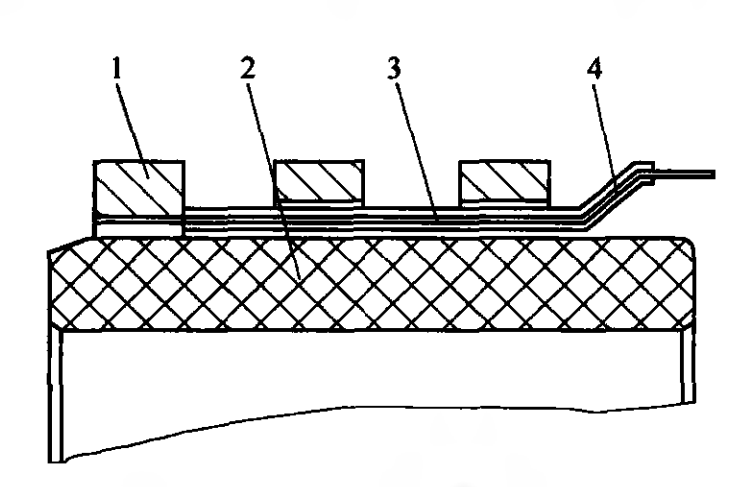


图3-7　套筒式集电环

1—铜环　2—套筒　3—绝缘层　4—接线片

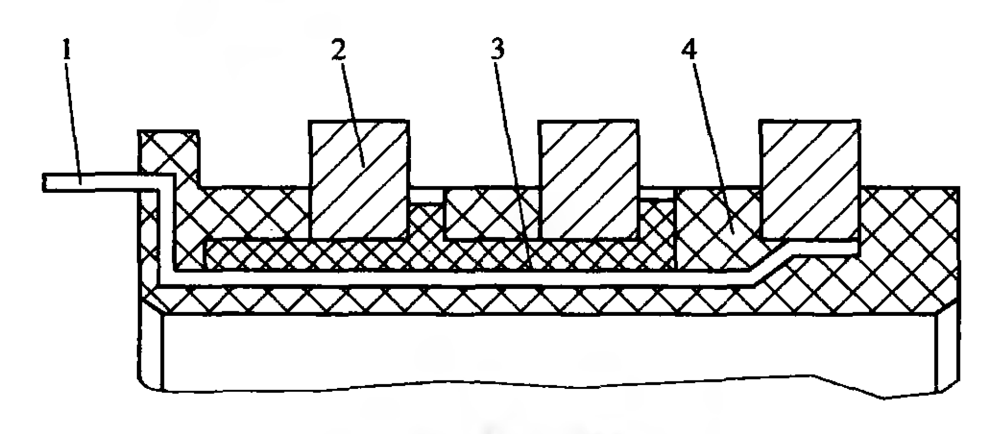


图3-8　压塑料式集电环

1—接线片　2—铜环　3—垫铁　4—压塑料

表 3-6 集电环的故障与修理

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	集电环温度过高	(1) 碳刷与集电环的接触面积不够大 (2) 集电环表面破损 (3) 碳刷安装时错位 (4) 碳刷压力过大或过小，过大，导致机械磨损增大；过小，则电气损耗增加 (5) 集电环表面有油污、杂物 (6) 电动机工作时振动较大，使刷与环接触不良，导致打火，损耗增大，环的温度也因此增高 (7) 碳刷牌号不对，电流密度过大	(1) 增加碳刷与集电环的接触面积，改善刷与环的接触状况，如将刷的弧面磨成与环的外圆相吻合 (2) 修复环的表面或换新环，修复时应注意 1) 表面粗糙度不能降低 2) 单边加工量不宜大于 1 ~ 1.5mm (3) 调整至适中位置后予以固定 (4) 调整弹簧压力，使其适中 (5) 加强碳刷、集电环部分的外壳的密封，及时清理集电环表面 (6) 若电机本身振动较大，应重校动平衡；若由拖动设备的干扰，则应设法排除 (7) 重选碳刷(包括其尺寸与材质)
2	集电环松动	(1) 集电环与轴的配合过盈小	(1) 对于套筒式集电环，真过盈量应不小于 H8/n4 配合座所显示的过盈量。为便于安装，应将集电环加热至 150℃后再装到轴上 对于压塑式集电环，经过一段时间使用，特别是电动机经常在正反转、起制动工况下工作，塑料件容易因老化而出现收缩、开裂、弊病，若再经过多次拆卸，自然要产生松动现象。此时，可将集电环内侧涂上一层 XH-2 快固胶重新装上，或者更换新的集电环
3	集电环表面损伤	(1) 集电环在长期工作中，因各种原因导致其工作面上出现斑点、条痕、凹痕、沟槽、印迹、磨伤等	(1) 一般修理　在集电环旋转状态下，用细平锉或油石研磨表面，伤痕消除后，再用 00 号砂纸在高速下抛光，使集电环表面粗糙度达到$\overset{1.6}{\bigtriangledown}$(即 $Ra1.6$)为度 精修　当烧伤较严重沟深达 1mm 伤面占总面积 20% ~30% 时，应将转子在车床上精修。修时，进刀量约 0.2mm，表面线速度约 2m/s，车削后的偏心度应不超过 0.03 ~ 0.05mm，然后再用 00 号砂纸抛光，使表面粗糙度达到$\overset{1.6}{\bigtriangledown}$为度

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
4	集电环绝缘损坏	（1）压塑料因老化而变脆、开裂，若外界煤粉、铁粉及其他导电粉尘和油污浸入，便会引起集电环铜环与铜环（或不锈钢环）间击穿或对地击穿 （2）压塑料表面烧伤	（1）同序号2 （2）先将伤处剔除清理、擦洗干净；检查是否有短路点，合格后用6101环氧树脂胶和650号固化剂混合（各一半）后，涂在剔除部分，抹后，干燥8h，再浸JF9950无溶剂环氧浸渍漆，涂一次后即可使用
5	引线或接线片烧伤	（1）固定不牢 （2）污垢引起爬电短路	（1）修复后拧牢 （2）经常清理污垢；重新包扎紧固后应留有足够的爬电距离

二、刷握装置的故障与修理

刷握装置故障与修理见图3-9、表3-7。

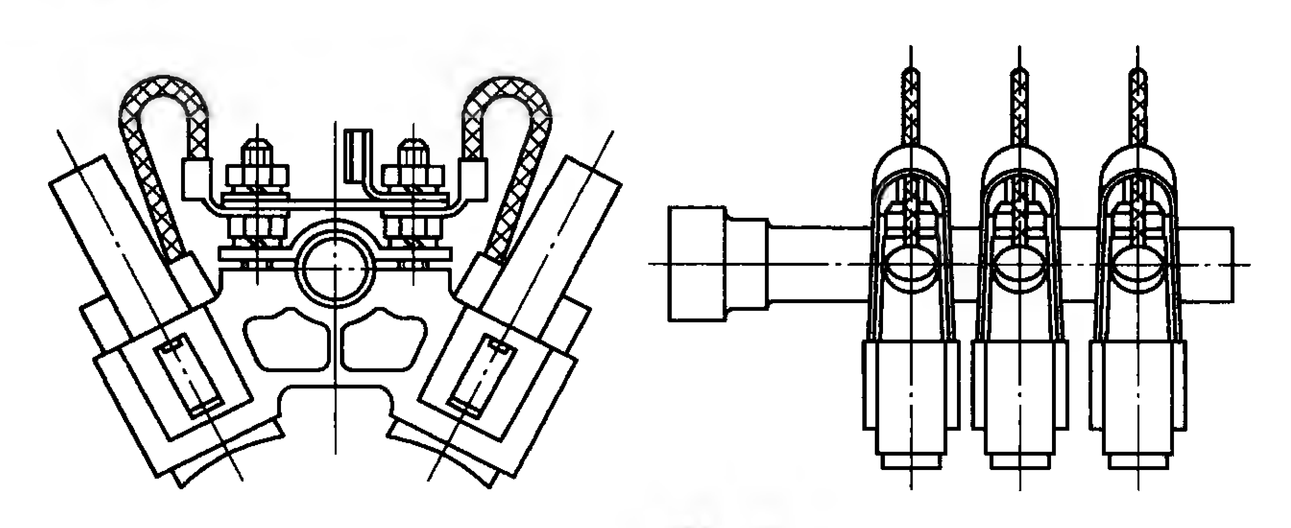


图3-9　刷握装置

表3-7　刷握装置故障与修理

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	碳刷过热	（1）碳刷压力压大或太小 （2）碳刷与集电环接触不良 （3）碳刷与集电环错位 （4）各碳刷压力不均匀造成负载分配不均匀	（1）、（2）、（3）见表3-6之序号1 （4）调整碳刷压力，更换大小不等的碳刷

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
2	碳刷在盒内卡住不动	（1）刷盒粗糙度低 （2）碳刷尺寸偏大 （3）碳刷灰及其他粉尘积满刷盒 （4）碳刷辫太短	（1）将刷盒内壁磨光，使粗糙度不低于$\overset{6.3}{\bigtriangledown}$ （2）将大的部分磨小 （3）用压缩气体将灰尘清除 （4）更换合格碳刷
3	碳刷压力小	（1）弹簧质量差 （2）弹簧过热退火 （3）碳刷卡住，不灵活	（1）更换合格弹簧 （2）同上 （3）同序号2
4	碳刷跳动产生火花	（1）刷杆与端盖固定螺栓脱落 （2）刷握与刷杆紧固螺栓松脱 （3）碳刷压力小 （4）集电环材质不合格	（1）重新拧紧螺栓 （2）重新拧紧螺母 （3）同序号3 （4）更换集电环
5	压力弹簧夹断裂	（1）铆钉未铆牢 （2）使用疲劳断裂 （3）刷辫断开后由于弹簧导电过热后退出	（1）重新铆牢 （2）重新更换 （3）更换碳刷和弹簧
6	刷盒松动	（1）刷握与刷杆紧固螺母松动	（1）重新紧固螺母

第四章　起重及冶金用电动机的修理与试验

第一节　起重及冶金用电动机的修理

一、绕组的类型及应用

- 绕组类型
  - 散绕组
    - 单层
      - 同心式
      - 交叉链式
      - （同心式、交叉链式）适用于定转子功率小的电机，每个槽一个元件边
    - 双层——叠绕——适用于定转子功率大的电机
  - 成型绕组
    - 双层叠绕组——适用于定子（每个槽内 2 个元件边）
    - 波绕组（双层）——适用于转子

（一）绕组的特点

定子绕组下线方式均为双层叠绕（均以 YZR 电机为例），散嵌线转子的绕组型式为单层链式（YZR280 及以上机座号除外），成型线圈转子绕组型式为双层波绕，线圈为一头弯结构，下线、焊接非常方便。

（二）布线和嵌线规律

1. 单层链式绕组嵌线特点

（1）起把线圈（或叫吊把线圈）数等于 q（q—每极每相槽数）；

（2）嵌完一个槽后，空一个槽，再嵌另一相的下层边；

（3）同相线圈的连线是头与头、尾与尾相接。

2. 双层叠绕组嵌线特点

双层叠绕组嵌线工艺比较简单，但应该注意的是：在开始嵌线时，第一个节距为 y 的线圈上层边暂不嵌入槽，其余线圈嵌完下层边后再按节距 y 嵌上层边。在嵌上层边之前，应先放入层间绝缘。直到全部线圈嵌完后，再将起把线圈的上层边嵌入槽中。接线规律是头与头、尾与尾相接。

3. 双层波绕组嵌线特点

起重及冶金用绕线电机转子硬绕组的嵌装为嵌入法和插入法，单匝成型线圈用插入法。波绕组与双叠绕组布线规律大体上相同，只是波绕组的下层边与上层边相连。而且线圈是一头弯的结构。

二、绕组的排列方法

绕组排列的主要目的是如何能从结构上满足所需要的极数和产生较理想的旋转磁场。

（一）槽电势星形图法：

此法是只画一对磁极，这样机械角度与电气角度相同，便于分析问题，下面举例说明

例：24 槽（定子）4 极，步骤：

（1）矢量图中的矢量根数 $=\frac{24}{极对数}=12$ 根

（2）两根矢量之间的电角度 $\alpha=\frac{360°}{12}=30°$ 或 $\frac{720°}{24}$

（3）各矢量上标槽号及相号

（4）选三相合成矢量 A、C、B。三相合成矢量之间应相隔 120°电角度。

（5）注意电角度和机械角度在此情况下是一致的，因为画的是一对磁极矢量图。

（6）确定各相号正、负，如 A 相与合成矢量 A 之间夹角小于 90°的槽号为正，1a、13a、2a、14a 为正，7a、8a、19a、20a 为负，槽号上加“－”。

（7）分布系数的计算　取一相即可，如 A 相，步骤如下：

将 $\overline{7a}$、$\overline{19a}$ 折到 1a、13a 矢量上，将 $\overline{8a}$、$\overline{20a}$ 折到 2a、14a 矢量上，并向合成矢量 A 投影，取其投影长度，每一相共 8 个槽矢量，分布系数 $K_a=(4+4\cos30)/8=0.933$

（8）短距系数 $K_p=\cos\frac{\alpha}{2}=\cos\frac{30}{2}=\cos15°=0.966$（选的是短节距，如果短的角度不确定，如 α，取其角度的 $\frac{1}{2}$ 再求 $\cos\varphi$ 值，α 是短几个槽所占的电角度，如此列为短一个槽，所以电角度为 30°）。

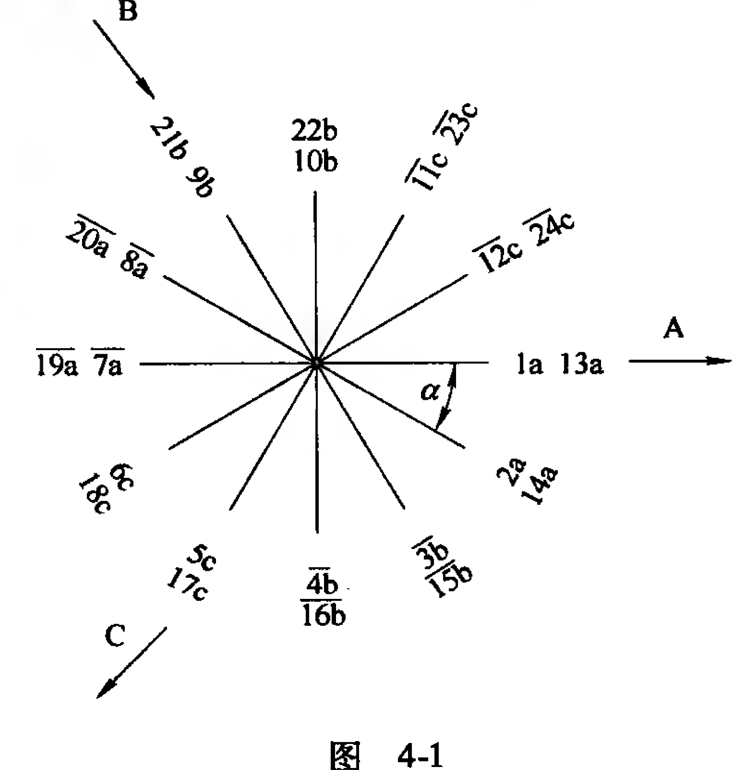


图　4-1

（9）电机的绕组系数 $K_{\alpha p}=K_\alpha\cdot K_P=0.933\times0.966=0.9$

（二）表格法

将所有槽号列在表上，每个槽号下面标上相号，并设线圈的起头为正，三相分别为 a、b、c，尾端分别为 －a、－b、－c（见表 4-1）。

1. 整数槽绕组

每极每相所占的槽数 $q=$ 整数。

例如：4 极　24 槽电机（见表 4-1、图 4-2）

2. 分数槽绕组

q 分为代分数和真分数（即 $q<1$），用字母表示，分别为 $J\frac{K}{L}$ 和 $\frac{K}{L}$，例如 30 槽 8 极，$q=\frac{30}{8\times3}=1\frac{1}{4}$（见表 4-2 及图 4-3）。

表 4-1　每极，每相占 2 个槽，$q=2$

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相号	a	a	-b	-b	c	c	-a	-a	b	b	-c	-c	a	a	-b	-b	c	c	-a	-a	b	b	-c	-c
	N极						S极						N极						S极					

图 4-2　整距双层叠绕组（画的 A 相，B、C 相同）

表 4-2　30 槽 8 极绕组排列

槽号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
相号	a	-b	c	-a	-a	b	c	a	-b	-b	c	-a	b	-c	-c

三相绕组的排列法是按 1　1　1　2……进行循环，循环次数等于 L 的数值，$J+1$ 个数等于 K 的数值，J 的个数等于 $L-1$，1　1　1　2 的顺序可任意调整，进行下一循环时不能变动，此列中 $q=\dfrac{30}{8\times3}=1\dfrac{1}{4}$，$J=L-1=4-1=3$，$K=1$，$L=4$。

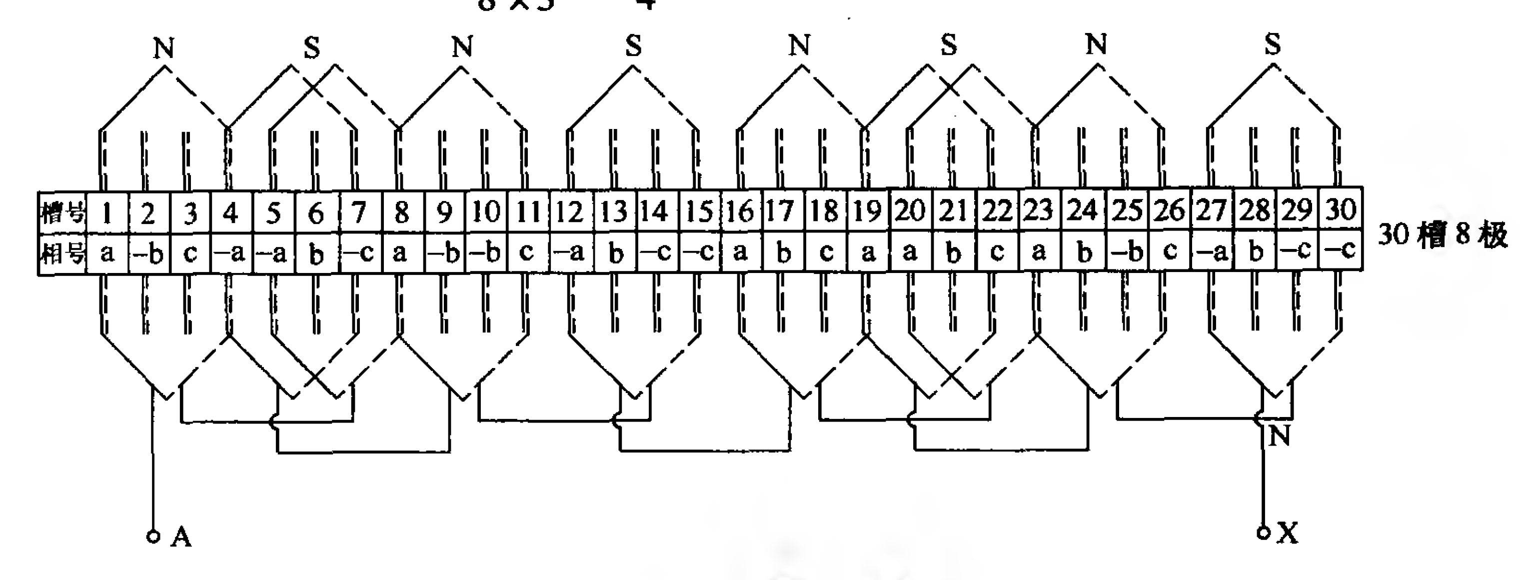


图 4-3　分数槽双层叠绕组

3. $q<1$ 绕组排列（见表 4-3）

例：$Z_1=45$　$2p=20$　试排列出定子绕组排列方案。

解：$q=\dfrac{Z_1}{2pm}=\dfrac{45}{20\times3}=\dfrac{3}{4}$

式中　Z_1——定子槽数；

p——极对数；

m——相数。

按 $q=1$ 先预排 60 槽 20 极绕组排列，见表 4-3。

表 4-3　60 槽 20 极绕组排列

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
相号	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$
槽号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
相号	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$	a	$\bar{c}$	b	$\bar{a}$	c	$\bar{b}$

这种极相组的排列次序与实际线圈在定子槽中的排列是一致的，即为 a $\bar{c}$ b $\bar{a}$ c $\bar{b}$……循环，其中 a－$\bar{a}$为同一相在不同极下的两个相带，b－$\bar{b}$、c－$\bar{c}$也是一样。在 $q<1$ 时，由于定子槽是不可能分割的，所以每极下每相占有一个小于 1 的分数槽$\left(例如\dfrac{3}{4}\right)$，事实上是不可能的。只能是同一相在有的极下占有一个槽，有的极下没有槽，一般所说的分数槽绕组的每极每相槽数实际是指平均值而言。由于 $q=\dfrac{3}{4}$，分母为 4，因此在以上的 a $\bar{c}$ b $\bar{a}$ c $\bar{b}$的循环中从起始开始数，当遇到 4 的倍数时就去掉该相带，可以看出正好去掉 5 个 $\bar{a}$ 相带，5 个 $\bar{b}$ 相带、5 个 $\bar{c}$ 相带，从而得到定子绕组排列顺序，见表 4-4。

表 4-4　45 槽 20 极绕组排列

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
相号	a	$\bar{c}$	b	c	$\bar{b}$	a	b	$\bar{a}$	c	a	$\bar{c}$	b	c	$\bar{b}$	a	b	$\bar{a}$	c	a	$\bar{c}$	b	c	$\bar{b}$	a	b	$\bar{a}$	c	a	$\bar{c}$	b
槽号	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45															
相号	c	$\bar{b}$	a	b	$\bar{a}$	c	a	$\bar{c}$	b	c	$\bar{b}$	a	b	$\bar{a}$	c															

图 4-4 和图 4-5 分别是三相 20 极 45 槽的定子绕组槽矢量图和相矢量图。观察相矢量图可知，三个相矢量相位互差 120°同时由于三个相所有槽电势矢量分布都是对称的，因此三个相矢量大小也必然相等，从而满足了三相对称的要求。

在槽矢量图和绕组的节距确定之后，如果再进一步列出槽电流表和画出绕组磁动势图，就可以从绕组磁动势图中很清楚地看出这个绕组所产生的极数，也可以很粗略、直观的判断出这个磁场所含谐波成分的大小，这里就不再详细分析了。

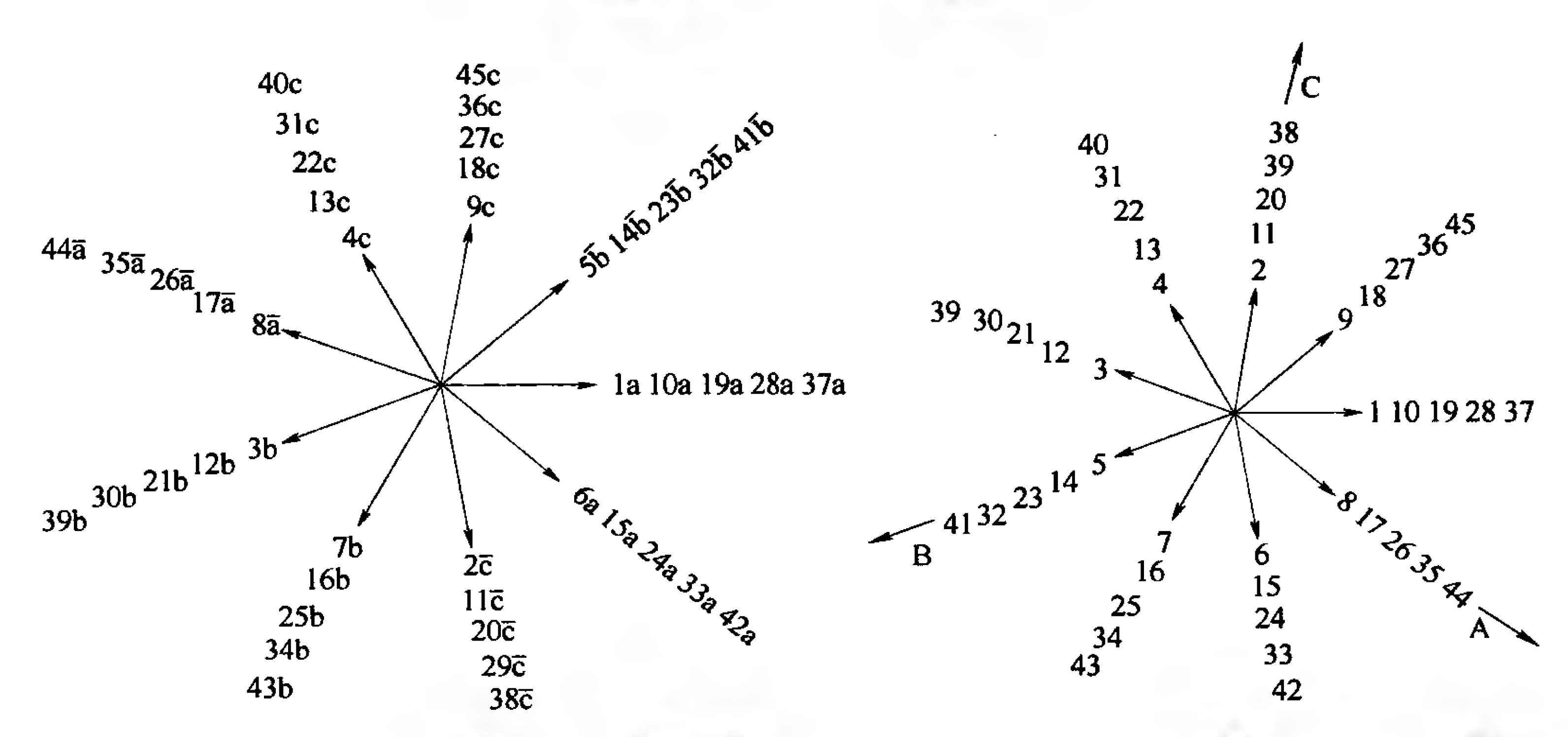


图 4-4　三相 20 极 45 槽定子绕组槽矢量图　　图 4-5　三相 20 极 45 槽定子绕组相矢量图

每极每相槽数 $q<1$ 时，不一定都能排出三相对称绕组。

设 $q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{K}{L}\left(\frac{K}{L}\text{是最简分数}\right)$，须同时满足以下条件才能排列出三相对称绕组。

（1）$q=\frac{K}{L}\geqslant\frac{3}{4}$

（2）$L=K+1$

（3）$q=\frac{Z_1}{2pm}$中的$\frac{Z_1}{2pm}$最小公约数为 3

（4）L 不能是 6 的倍数

（5）必须是双层绕组

4. 绕组的并联支路数

（1）单层绕组　每极每相槽数 $q=$ 偶数，最大并联支路数 $a=2p$（$p=$ 极对数）

$q=$ 奇数，$a=p$

（2）双层绕组：$q=$ 整数，$a=2p$

$$q=\text{分数},\ a=\frac{2p}{q\text{ 的分母}}=\frac{2p}{2pm}$$

注：并联支路数内的电流方向必须相同。

5. 三相绕组的引出线必须满足对称条件

（1）每相线圈数必须相等。

（2）三相的引出线之间应相差 120°电角度。

三、单绕组双速电动机绕组排列方法（反向变极法）

（1）基本极选用表格法，变极后选槽矢量图法。

例：电机定子是 60 槽，8 极和 20 极排出绕组图。

本例选 20 极为基本极，每极每相槽数 $q=1$（见表 4-5）。

表 4-5　60 槽 20 极绕组排列

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
相号	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b
槽号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
相号	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a
槽号	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
相号	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c

（2）画出 8 极槽矢量图共 15 个槽矢量，按 20 极的相号表按顺序标在 8 极槽矢量上，但不标正负（见图 4-6）。

选好三相合成矢量位置，如图示，相互差 120°，做 A 向矢量的垂直线，大于 180° 的 A 向槽矢量为负号用“—”表示，小于 180° 的 A 相槽矢量为正，符号省略，其他两相按此办法确定。

（3）将 8 极、20 极每槽相号正负列在表 4-6 中，并标出需要反向标志“✓”及相号。

（4）画出接线图，20 极选 1 Y，8 极选 2 Y，按基本极 20 极相号正负写出（见图 4-7）。

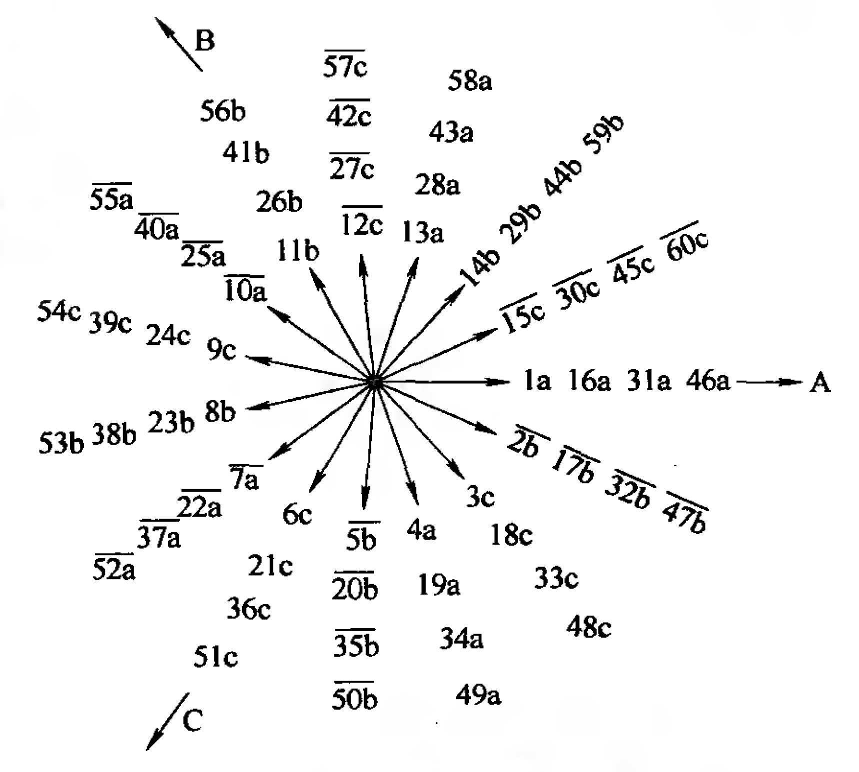


图 4-6　60 槽 8 极槽矢量图

接线时按 1 Y进行，节距 y = 1 − 9，槽号上方带“—”符号者，意为电流从线圈尾端进入，如 A 相$\overline{58}$的线圈尾为 A 相头，58 的头接 55 的头，55 的尾接 46 的尾…，槽号上方没有符号“—”者，意为电流从线圈头进入。

表　4-6

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20 极相号	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b
8 极相号	a	−b	c	a	−b	c	−a	b	c	−a	b	−c	a	b	−c	a	−b	c	a	−b
反向标志				✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓		
槽号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
20 极相号	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a
8 极相号	c	−a	b	c	−a	b	−c	a	b	−c	a	−b	c	a	−b	c	−a	b	c	−a
反向标志				✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓		
槽号	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
20 极相号	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c	a	−b	c	−a	b	−c
8 极相号	b	−c	a	b	−c	a	−b	c	a	−b	c	−a	b	c	−a	b	−c	a	b	−c
反向标志				✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓	✓	✓		

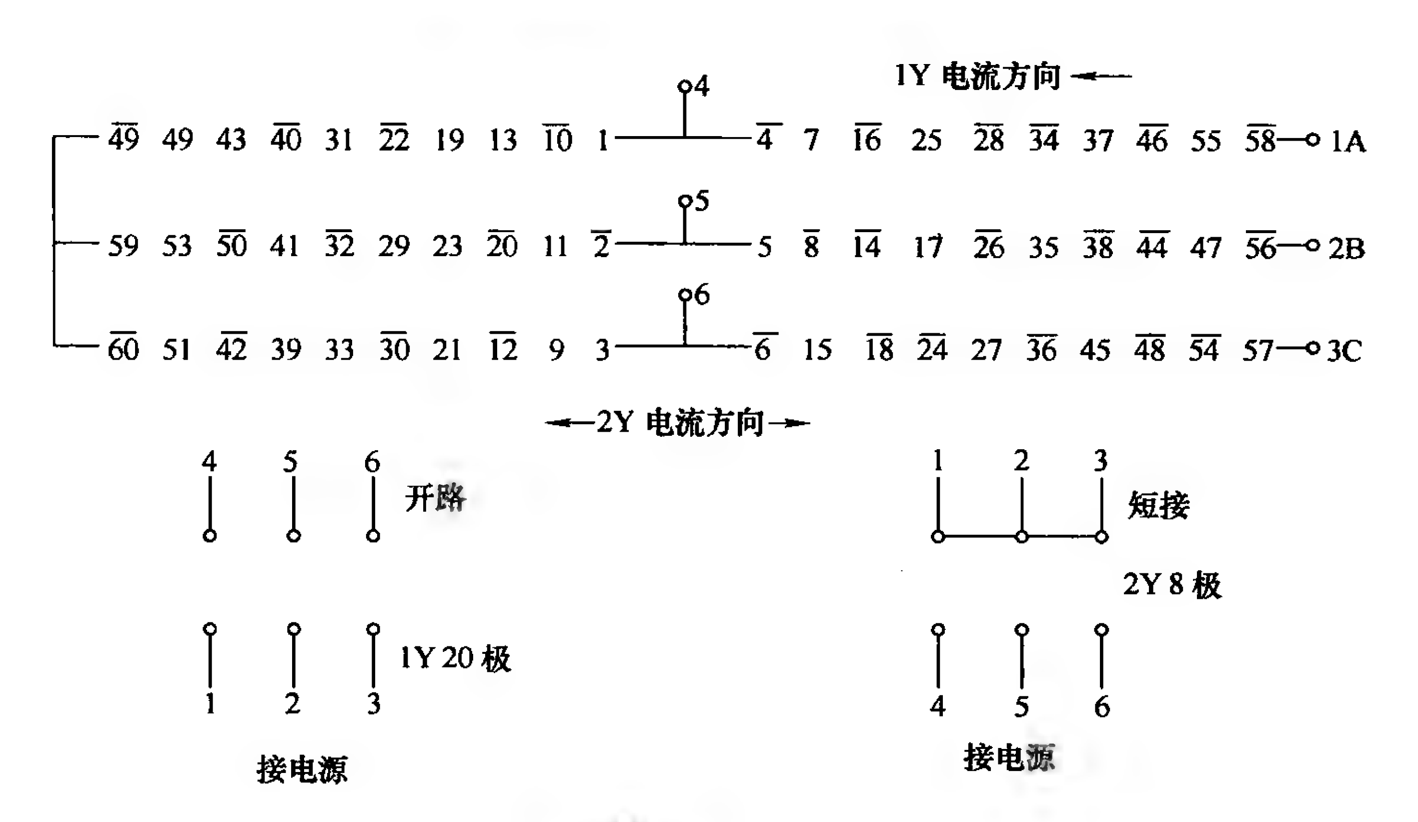


图 4-7　60 槽 8 极和 20 极绕组接线

（5）按上述方法就可以画出 72 槽、8/20 极的接线图（见图 4-8）。

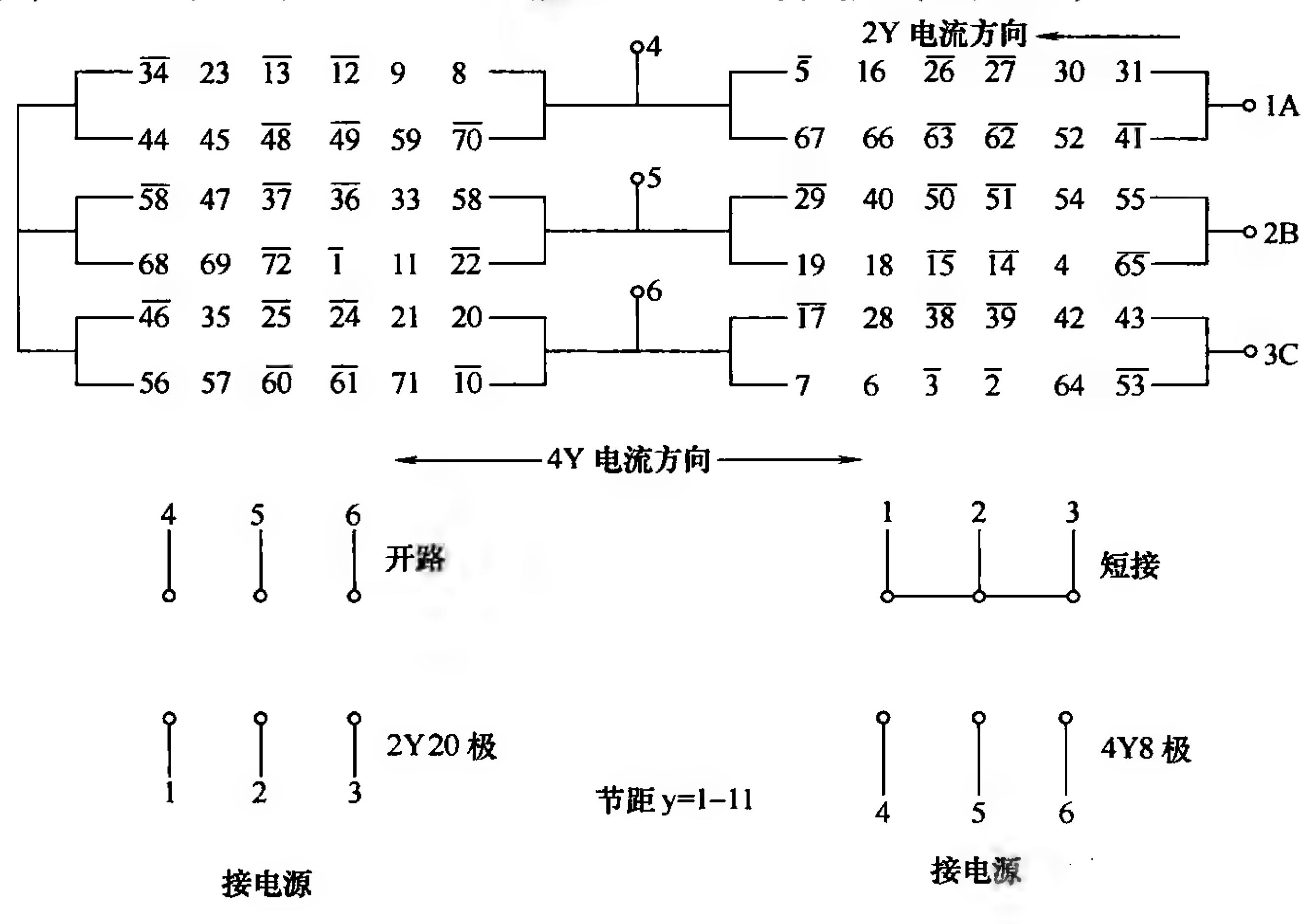


图 4-8　72 槽 8/20 极绕组接线

（6）画出 54 槽、6/16 极接线图（见图 4-9）。

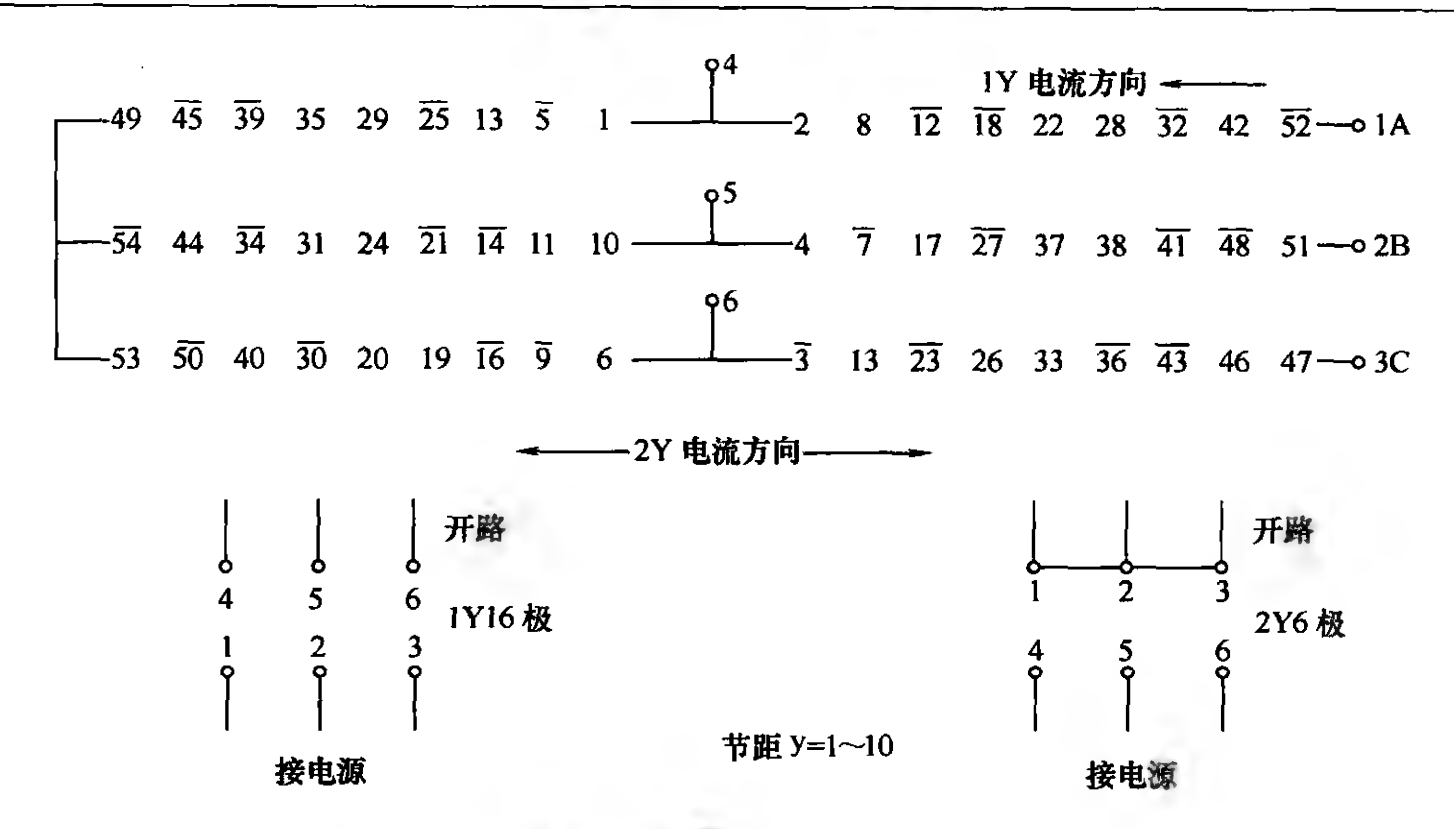


图 4-9 54 槽 6/16 绕组接线

（7）画出 60 槽，4/16 极接线图（见图 4-10）。

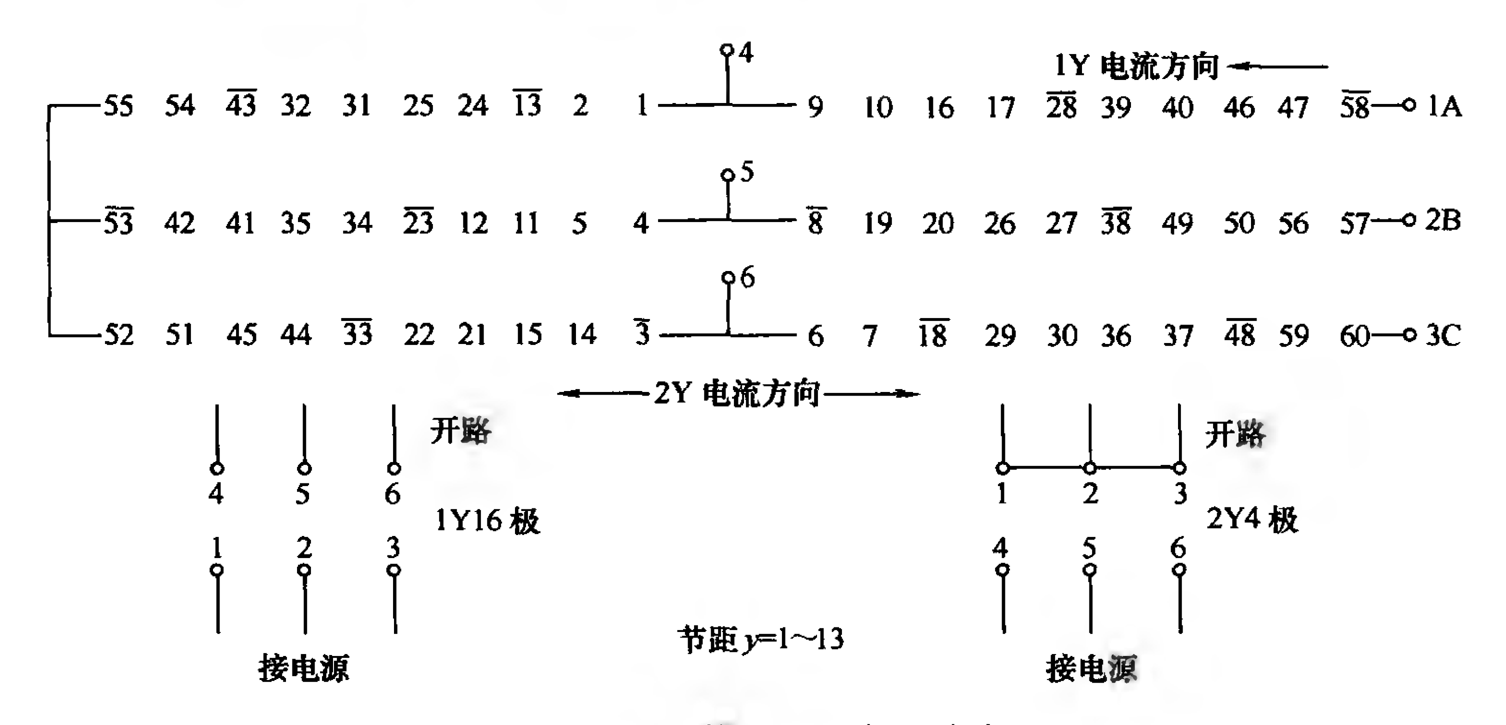


图 4-10 60 槽 4/16 极绕组接线

四、定子绕组的检修

三相异步电动机定子绕组（包括绕线转子），常见的故障为绝缘电阻低，绕组接地、短路、断路和接线错误等。

（一）绕组绝缘电阻低

在冷态时，测得的绝缘电阻低于 5MΩ 就不能继续用了，一般原因是电动机受潮或绕组表面灰尘、油污、腐蚀性气体腐蚀等，需要对绕组进行干燥处理，烘干办法：

1）小电动机可放在烘干箱内；

2）定子三相绕组通入低电压、大电流，但电流不能大于电动机额定电流的2倍。

3）将电动机转子抽出，用红外线灯泡对定子绕组进行烘干。

（二）定子绕组接地故障

电动机的机壳是接地的，如定子绕组绝缘损坏、绕组导线与铁心直接接地，使机壳带电，造成定子绕组接地故障。

1. 原因

导致定子绕组接地故障的原因主要有以下几个方面：

（1）线圈受潮，绕组绝缘失效。

（2）绕组重绕嵌线时，由于操作上的疏忽，使绝缘擦伤或擦破，或使槽绝缘位移。

（3）绕组线圈端部过长，与端盖相碰。

（4）引出线绝缘损坏，与机壳相碰。

（5）电动机长期过载运行，线圈里的绝缘因长久受热而焦脆，以至开裂脱落。

（6）绕组绝缘受雷击而损伤。

2. 检测

检查定子绕组接地故障的方法较多，较常用、有效的方法主要有以下几种：

（1）观察法　接地点最容易发生在绕组端接头部分接近槽口的地方，而且绝缘常有破裂和焦黑的痕迹，所以首先在这些地方查找接地点，如果引出线及端部没有发现接地点，则接地点常在槽内。

（2）白炽灯检查法　检查前应把三相绕组之间的连接片拆开，6个端子可在接线盒内测，星点在电机内就得拆电机了。检查时，把白炽灯和电池串联，一根引线接到电动机外壳上，另一根引线轮流接到各相线端上，如果白炽灯发亮，则此相为接地。

如不用电池作电源，也可用220V交流电源和220V白炽灯泡按图4-11所示的连接方法进行检查，但应注意安全。

将两组间的连接线拆开，按照上述方法找出接地的一组，再将有故障的一组分成一组或几组，分别检查直至找出接地点。检测时，也可轻轻地摇动线圈或引出线并注意灯光，如发现灯光闪动或变暗时，这个线圈或引出线就有接地故障。

如果故障不是直接接地（碰壳），而是因为绝缘受潮，使绕组的导线和机壳间漏电，这时绕组和机壳间有较高的电阻，用白炽灯法可能检测不出来。这时可以用几只电池和一只喇叭（或耳机）串联，用引线断续地碰触机壳或绕组接线头，如听到“喀嚓”声，说明绕组绝缘有故障。好的定子绕组是听不到这种声音的。

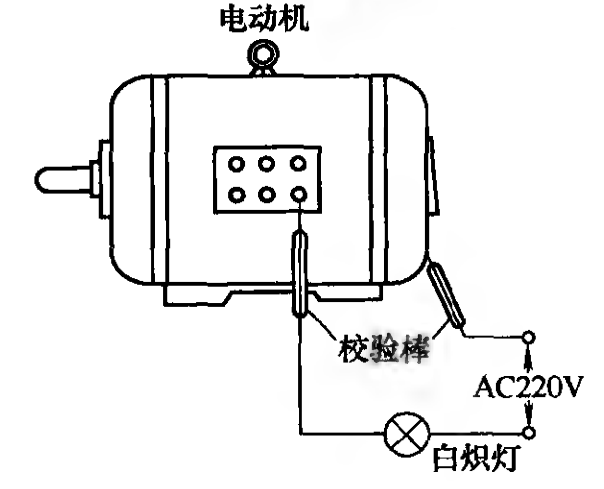


图4-11　用220V电源检查定子绕组接地故障方法

(3) 万用表或绝缘电阻表检查法　检查步骤和方法与上法基本相同，如果万用表或绝缘电阻表测得绝缘电阻大（5MΩ 以上），说明是不接地的，如果阻值为零或小于5MΩ，则是说明直接接地或绝缘受潮。

3. 修理

接地故障查明后，根据不同的情况，采取不同的修理方法。

(1) 如果接地点在端部槽口附近的地方，而且没有严重烧伤时，只要在接地点处的导线和铁心之间插入绝缘材料（漆布或绝缘纸板等）后，涂刷绝缘漆就行了。

(2) 如果接地点在槽的里面，这时可以在故障线圈的槽楔上，用毛刷刷上适当的溶剂（例如此方法为丙酮40%、甲苯35%和酒精25%），约30min 后，电动机绕组绝缘即可软化，此时可以轻轻地抽出槽楔子，仔细地用划线板将线圈的线匝一根根地取出来，直至取出故障的导线。用绝缘绸带将绝缘损坏处包好，再仔细地将取出的导线嵌回线槽。如果多根导线的绝缘损坏了，经过处理后再嵌回槽里有困难，可以在槽外两端将它们切断，再用相同规格的新电磁线，截取2倍于槽长的线段，去调换槽内被切断的导线，在线圈两端连接断头。工作时要细心，不可接错。

如果故障发生在底层导线中，则必须将妨碍这项修理工作的一、二组附近的上层线圈边的导线取出槽外，待有故障的线匝修理完毕后，再顺序地嵌回槽中。

(3) 目前电机制造厂多采用 VPI 浸漆，非常坚固，如果线圈无法拆，就得整机绕组拆出。

(三) 定子绕组短路故障

绕组短路就是绕组的导线绝缘损坏，使不应该接通的两导线直接相碰，构成一个低阻抗的环路。如短路线匝阻抗为 0.01Ω，线圈内感应电动势为 1V，则短接的环路中，将有 100A 的电流，这样大的电流会使该线圈迅速发热，使绕组绝缘迅速老化变质。如果短路线匝较多，会引起绕组中电流激增，严重时将导致绕组烧毁。

1. 短路故障的常见形式

定子绕组短路故障的常见形式主要有以下几种：

(1) 匝间短路　同一只线圈内导线之间短路；

(2) 极相组短路　一个极相组的两个引出线或线圈间短路；

(3) 相间短路　异相绕组间发生短路。

如果定子线圈只有几匝短路，电动机还可以起动，但这时电流增大，三相电流也不平衡，接通电源时，熔丝立即熔断。

2. 短路故障的检测方法

检测定子绕组短路故障的方法较多，常用的方法主要有以下几种：

(1) 观察法　绕组短路后，其故障处会产生高热而使绝缘变焦脆。因此，可先细心察看绕组，有无烧焦绝缘和嗅到气味的地方。如果故障点不明显，可让电动机空载运转几分钟，如有焦臭味或冒烟现象，必须立即停机，停机后马上拆下端盖用手摸绕组是否发热均匀，发生短路故障的地方，一般温度较高。

(2) 电流平衡法　让电动机空载运转，用钳形电流表或其他交流功率表分别测量

三相绕组中的电流。当三相电源和三相绕组都对称时，三相空载电流是平衡的，若测得某相绕组电流大，再将三相电源相序交换后重测，如仍是该绕组电流大，则说明该绕组存在有短路故障。

（3）电压降法　把有短路故障的那一相绕组的各线圈组之间连接线头的绝缘剥去，使铜线裸露在外面，并从引出线处适当地通入一个低压的交流电（或直流电），用万用表的交流电压挡（或直流电压挡）测量每一线圈的电压，电压小的那一组或那一个线圈，就存在有短路故障。

（4）开口变压器法　开口变压器法是利用变压器原理来检查匝间短路的。其铁心用H形硅钢片叠成，铁心凹槽中绕有线圈，可接36V～220V的交流电。

使用时，将已接通交流电源并串有电流表的开口变压器的开口部分放在被检查的定子铁心槽口上，如图4-12所示。这样，开口变压器的铁心和定子铁心的部分组成了变压器的闭合磁路，开口变压器的线圈就相当于变压器的一次线圈，而被检查的定子铁心槽内的线圈相当于变压器的二次线圈。用开口变压器沿着定子铁心内圆逐槽移动。当它经过无故障线圈时，相当于二次线圈开路，故电流表读数很小；当它经过短路线圈时，这个短路线圈相当于变压器二次绕组被短路点接通，故此时会使电流表的读数比开口变压器经过其他槽口时要大。

如果没有电流表，也可用一片厚0.5mm钢片或旧锯条安放在被测线圈的另一个线圈边所在的槽口上面，此时开口变压器中未串电流表。此时，若被测线圈有短路故障，则短路线圈所产生的磁通就通过槽齿经钢片而构成回路，并对钢片产生吸力。由于磁通是变化的，就会发生钢片与槽齿碰击的“吱吱吱”的振动声。如果被测线圈无短路故障，则钢片不振动。将开口变压器沿定子槽口依次移动，同时也相应地移动钢片，并保持距离，这样便可以检查定子绕组的全部线圈。钢片发生振动的槽口与开口变压器跨接的槽，即为短路线圈两个有效边所在的槽。

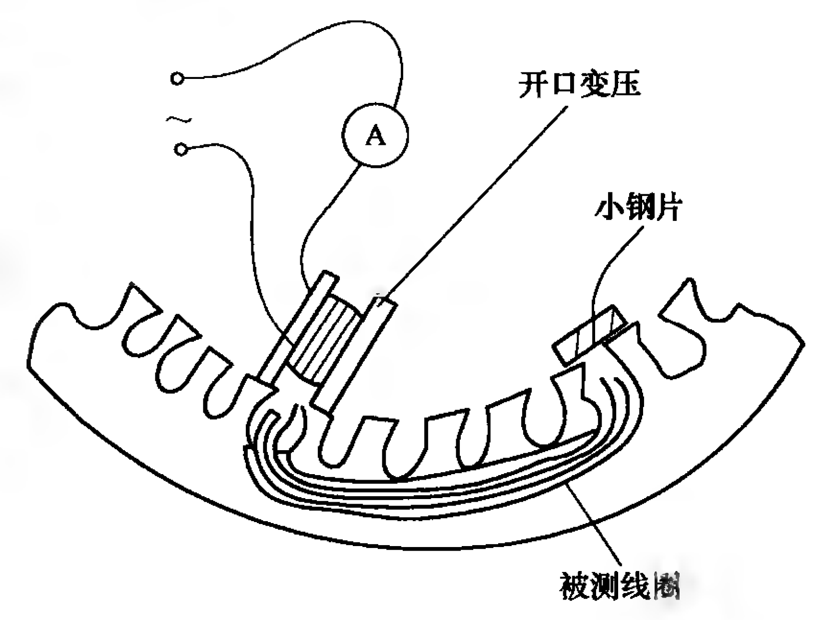


图4-12　开口变压器法检测定子绕组短路的方法

使用开口变压器时，通常应注意以下几个问题：

1）电机引出线端是△形连接时，△形应拆开，以使绕组内不存在环流通路时，才可以使用开口变压器确定故障线圈，否则会由于存在环流而无法分清哪一个是短路线圈。

2）绕组为多路并联的电动机，也应将各并联支路拆开，道理同上。

3）在双层绕组的定子中，一个槽内嵌有不同线圈的两条边，要确定究竟是哪一个线圈短路时，应分别将钢片放在左边相隔一个节距的槽口和右边相隔一个节距的槽口，

都试验一下。

4）应先将开口变压器放在铁心上，再接通其电源，这样磁路闭合。若磁路不闭合，线圈中会产生很大电流，时间一长就会烧坏变压器的线圈。

5）电阻法。利用电桥或万用表低阻挡，将电动机接线盒中三相绕组的接头连接片拆去，分别检测各相绕组的冷态直流电阻进行比较。直流电阻小的一相就存在短路现象。

用电阻法来检查定子绕组的相间短路时，使用绝缘电阻表更为方便。按 120r/min（转/分）的转速摇动手柄，指针稳定的位置，即是被测两相的绝缘电阻值。若测得电阻显明小于正常值或为零，则说明相间存在绝缘不良或短路故障。

3. 开口变压器简单计算方法

开口变压器结构：外形如图 4-13 所示，其铁心为 H 形，用 0.35mm 或 0.5mm 厚硅钢片制成。

R_1 为被测转子外圆半径，因为一个开口变压器一般要适用于多个不同直径的转子，因此应取其比较合适的中间值。

R_2 为被测定子内圆半径，同理取用的半径也应适用于多种规格的电动机。

a 选 20mm，h 选 26mm，b 选 13mm，L 取 45mm，这些尺寸通过下述计算得出。

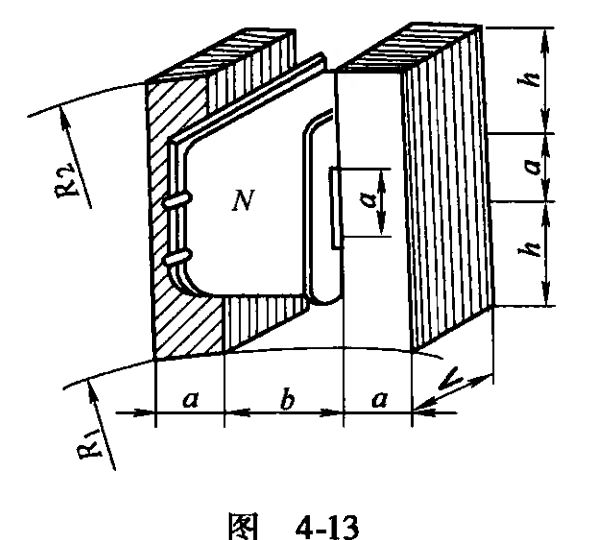


图 4-13

4. 开口变压器的简单计算

1）铁心面积（cm^2）

$$S = 1.25\sqrt{P} \qquad (4\text{-}1)$$

式中 P——开口变压器的容量，1～50kW 的电机，P 取 20～100VA；50～500kW 的电机，P 取 100～1000VA。

2）励磁线圈每伏的匝数

$$W_0 = \frac{4.5\times10^5}{B\cdot S} \qquad (4\text{-}2)$$

式中 B——磁通密度，取 13000～14000Gs，此值不能取得太低，否则不灵敏；

S——铁心面积（cm^2）。

励磁线圈总匝数 W_z

$$W_z = W_0 U$$

式中 U——电源电压。

3）励磁线圈的电流（A）

$$I = \frac{P}{U} \qquad (4\text{-}3)$$

4）励磁线圈的导线直径 d(mm)

$$d = 0.9\sqrt{I} \qquad (4\text{-}4)$$

5）铁心窗口面积 $S_0(\text{cm}^2)$

$$S_0 = bh \tag{4-5}$$

式中　b——铁心的窗口宽度，大约等于电机的槽宽（cm）（见图 4-13）；

h——铁心的窗口高度，根据线圈厚度决定。

6）*例题*　设计一测试 20kW 电动机用的开口变压器，取 $P=50\text{VA}$，电源电压 $U=220\text{V}$。

①$S=1.25\sqrt{P}=1.25\sqrt{50}=1.25\times7.07=8.84\text{cm}^2$

取 $S=9\text{cm}^2$。铁心宽度取 2cm（大约等于电机的齿宽），则铁心厚度为 $\frac{9}{2}=4.5\text{cm}$。

②取 $B=13500\text{Gs}$

$$W_0=\frac{4.5\times10^5}{B\cdot A}=\frac{4.5\times10^5}{13500\times9}\approx3.7\ \text{匝}$$

$$W_{总}=220\times3.7=814\ \text{匝}$$

③$I=\frac{P}{U}=\frac{50}{220}=0.227\text{A}$

④$d=0.9\times\sqrt{I}=0.9\times\sqrt{0.227}=0.9\times0.478=0.43\text{mm}$

取 $\phi0.45$ 高强度漆包线。

⑤铁心的窗口面积：令 $b=13\text{mm}$，h 要看线圈的总厚度而定。

线圈每层的匝数

$$W_1=\frac{0.9b}{d'}=\frac{0.9\times13}{0.51}=\frac{11.7}{0.51}\approx23\ \text{匝}$$

计入漆皮的导线直径 d' 为 0.51mm。0.9 为考虑绝缘而引入的一个系数。

层数 $D=\frac{W_{总}}{W_1}=\frac{814}{23}\approx35$ 层

线圈厚度 $D\cdot d'=35\times0.51=17.85$，取 18mm。

铁心窗高 $h=18+8=26\text{mm}$。式中的 8 是层间垫纸厚度及空气隙。

5. 短路故障修理方法

修理定子线圈短路故障的方法，根据线圈损坏程度的不同而不一样，常见有以下几种方法。

（1）短路点明显　如果查出的故障点有明显的短路点，且该线圈损坏不严重，可先对其加热，使绝缘软化，用划线板撬起坏导线，垫上好的绝缘材料，并趁热浇上绝缘漆烘干即可。

（2）线圈端部短路　线圈间短路发生在线圈端部的情况较为常见。如果在端部找出了故障点，导线的绝缘还未烧焦，可在两线圈交叠处插入绝缘，对于绝缘损坏的导线，可包以绝缘布。

（3）局部短路严重　如果大部分线圈短路严重，则必须拆下重绕。若仅一个或几个线圈短路，但大多数线圈完好时，不必全部拆换绕组，可用穿线法拆换坏线圈，穿线

的方法是：

先将线圈加热，使绝缘物软化，然后将其端部剪断，若是单层线圈，可将槽楔取下，从槽口取下坏线圈，若是双层线圈，可用钳子将导线从槽口内一根一根地抽出，拆下坏线圈过程中，应注意不要将相邻线圈绝缘破坏。

将坏线圈拆除以后，应清理铁心槽，换上新绝缘，或只在原绝缘上加一层聚酯薄膜即可。然后将导线一根一根地穿绕到原来匝数。穿线时，一般将导线按坏线圈总长加适当余量，从总长的中间开始穿线。穿线完毕，整理好端部，处理好端部绝缘，再进行必要的测试，在符合要求后即可浸漆烘干。

（四）定子绕组断路故障

所谓断路是指电动机定子绕组的导线、连接线、引出线等断开或接线头松脱，形成的开路现象。

1. 定子绕组断路故障现象

当定子绕组中有一相断路，电动机接至三相电源时，就会发出嗡嗡响声，起动困难（有时看到转子左右摇摆）甚至不能起动。当电动机带一定负载运行时，若突然一相断路，这时电动机可能还会继续运转，但其他两相绕组中电流要增大，并发出嗡嗡的低沉声。如果负载较重，在几分钟内就可发现定子绕组温度迅速升高，甚至冒烟，并有特殊气味，这种电动机停止运转后，再起动时就起动不起来了。有些电动机绕组内部是两条支路并联或绕组作三角形连接，如果绕组只断了一路，仍旧能起动运行，不过转速达不到额定值，转矩减小，三相电流不平衡，并伴有不正常的响声。

2. 电动机定子绕组断路检测方法

检查断路故障可用兆欧表或万用表、检测灯，也可用三相电流平衡法或测量绕组电阻的方法来进行检测判断。

（1）兆欧表或万用表检查方法　用兆欧表或万用表检查星形接法的电动机绕组时，可按图4-14a所示的方法来进行检测；对于三角形接法的电动机，必须把三相绕组的接线拆开后，按图4-14b所示的方法来检测。

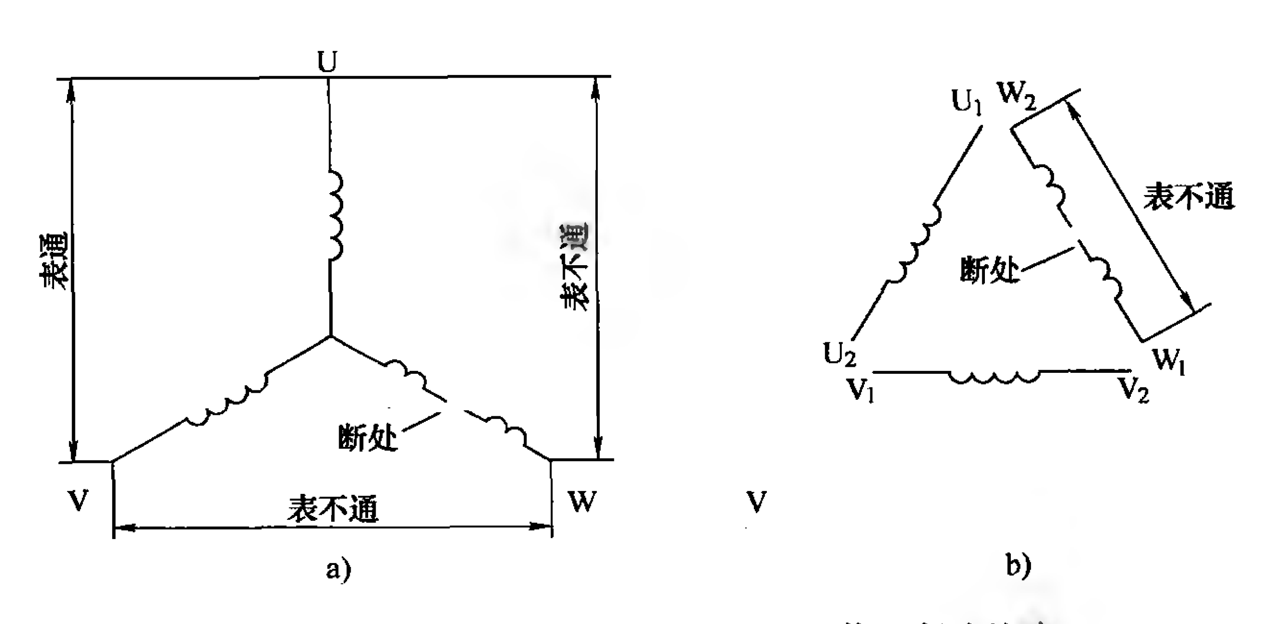


图4-14　用兆欧表或万用表检查电动机绕组断路故障

(2) 用三相电流平衡法的检查方法　对于中型电动机，可用三相电流平衡法来检测电动机的断路故障，因其绕组一般用多根导线或多支路并联，如果若干根导线或某支路开路，通常用这种方法进行检测。

1）对于星形接法的绕组，将三相绕组并联后，通入低电压，如果三相中的某一相电流差值大于5%，则该相为断路相，接线方法如图4-15a所示。

2）对于三角形接法的绕组，将接头拆开，然后逐相通入低电压，用电流表测量每相绕组的电流，其中电流小的一相为开路相，接线方法如图4-15b所示。

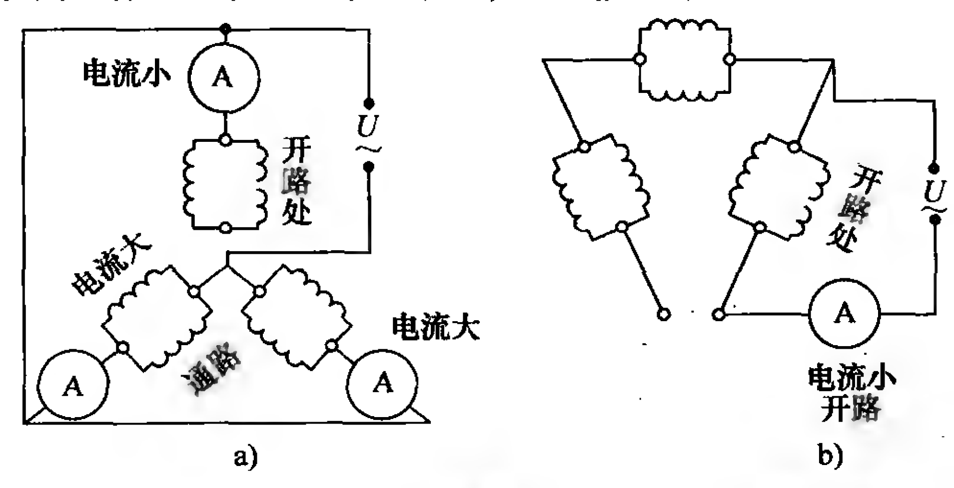


图4-15　用三相电流平衡法检查电机绕组断路故障
a) Y接　b) △接

3）用电桥测量三相绕组的电阻，若三相电阻差值大于5%，则电阻较大的一相为开路相。若没有电桥，也可以用万用表进行测量。

发现绕组断路以后，要对断路相的故障部位进行修理。

(3) 断线点的查找　找到断线相或断线支路以后，还需进一步查找断线点。可采用测试灯检测法，将一根测试棒接在断线相的末端或首端，如图4-16所示，另一根测试棒接一根金属针，将此金属针依次由断线相的首端（或末端）向末端（或首端）移动，先刺各线圈组间连接点，看灯泡的亮暗（或万用表、摇表的读数）查出断路的线圈组，继续用此法，查出断线点。在检查时，要合理地选择针刺点，并尽可能地少刺导线绝缘，以免造成短路故障。

1）对于断路点的铁心槽外，如是单根导线断开，可以重新焊接好并处理好绝缘。

2）若是两根以上的导线断开，则应仔细查找线头线尾，否则容易造成人为短路。

3）若断路点在铁心槽内，应用穿绕法更换故障线圈。

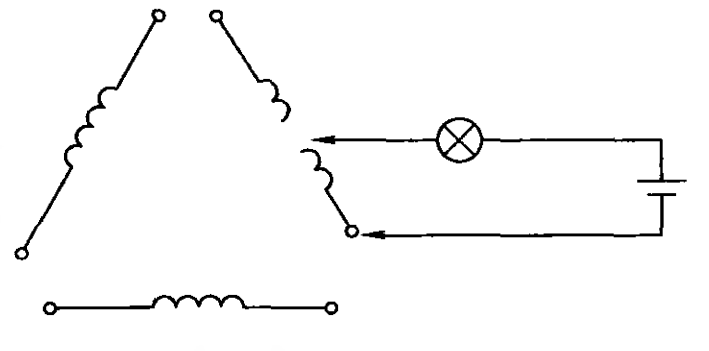


图4-16　用测试灯查找绕组断路点的方法示意图

4）若绕组断路严重，必须更换整个绕组。如果电动机急需使用，一时不能停下，也可像短路的应急修理方法，用跳接法将故障线圈首尾短接，这时可临时减低负载运行。

（五）三相绕组连接线错误

连接绕组极相组时，将头尾端接错或三相绕组引出线首尾接反，会引起磁势不平衡，造成电动机振动、噪声，三相电流严重不平衡，电动机过热，转速降低，甚至电动机不能起动。

1. 三相绕组头尾接反的检查方法

在检查头尾之前，先用万用表找出属于同一相绕组的两端，并先随意定好各相首尾端头的标号（U1、U2，V1、V2，W1、W2），就可以开始进行以下检查。

（1）交流电压法　先将任两相绕组按所定头尾串联后接到一个交流电压表上（可用万用表交流电压 10V 或 50V 挡），而在另一相绕组中通入 36V 交流电，接线如图 4-17 所示。如果电压表有指示，说明串联的两相绕组头尾连接正确；如果电压表无指示，说明串联的两相绕组中一相头尾错误，此时可任意对调这两相绕组之一的头尾再试，则电压表应有指标。用同样方法再将 U1、U2 接电源，连接 W1、V2，将 V1、W2 接电压表，接通电源后电压表有指示则三相绕组头尾均已正确，如电压无指示，说明 W1、W2 接错，只要对调 W1、W2 再试，电压表应有指示，到此三相绕组头尾全部找出。

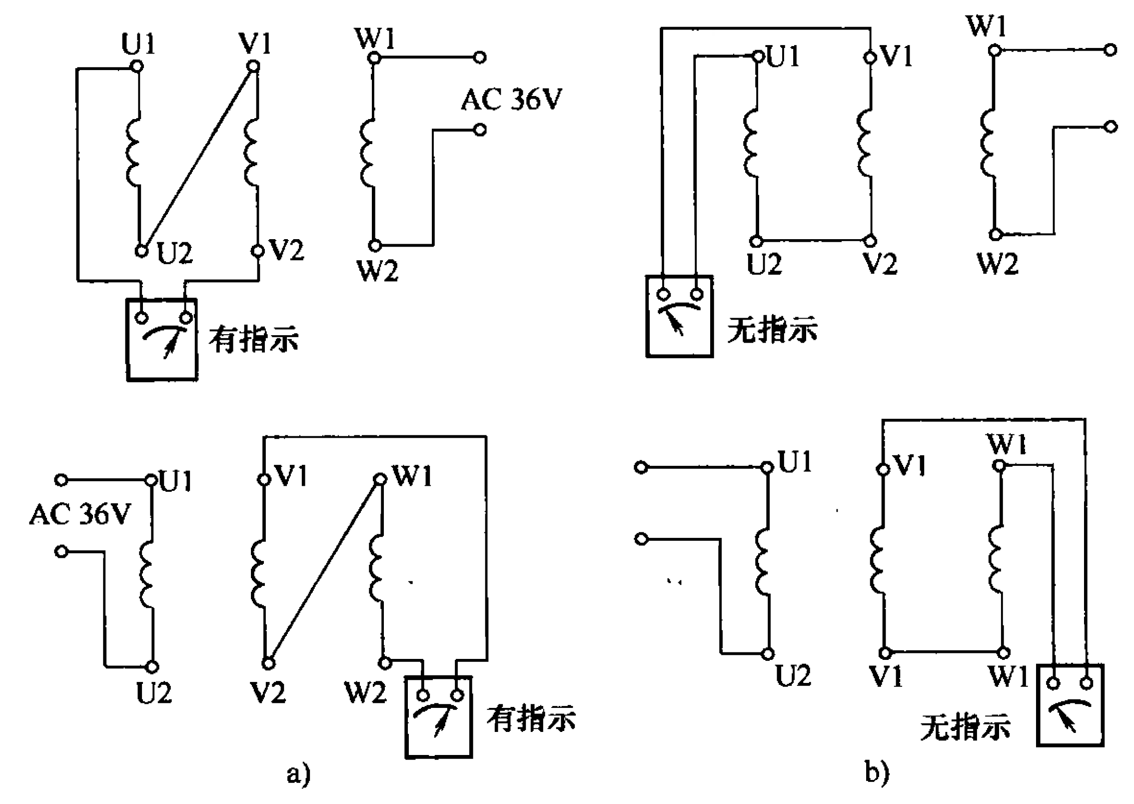


图 4-17　交流电压支检查三相绕组头尾

a）头尾连接正确　b）头尾连接错误

（2）转子转动法　任意选定三相绕组的头尾，分别并联后接到万用表上（应用 mA 档），如图 4-18 所示，然后转动电动机转子，如万用表指针不动，则说明三相绕组头尾正确；如万用表指针有偏转，说明有一相头尾错误，这时需分别轮流对调三相绕组的头尾再试，只要某次万用表指针不动，这时并联在一起的就分别是每相绕组的头和尾。本法适用于已组装好的电机。

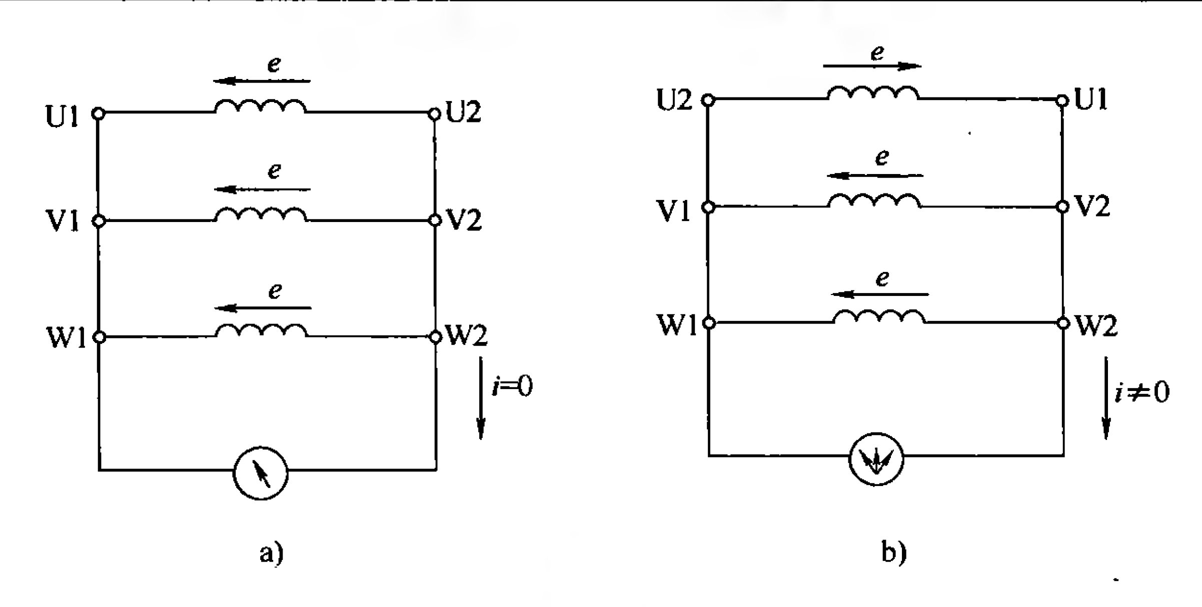


图 4-18　转子转动法检查三相绕组的头尾
a）指针不动，三相绕组头尾正确　b）指针动了，三相绕组头尾错误

（3）干电池加压法

1）用万用表的 $R\times1$ 挡或 500V 兆欧表找出三相绕组的两端。三相绕组假设编号为 U1、U2、V1、V2、W1、W2。

2）作好假设的编号以后，将任一相绕组接万用表的 mA 挡，另选其余两相绕组中的一组，用该绕组的两个引出端分别碰触干电池的正、负极，观察万用表指针的摆动情况。

3）若瞬间万用表指针正向偏转（即向有读数的方向偏转），则接干电池正极的引出端与接万用表红表笔的一端为同首（或同尾）端，如图 4-19 所示。

4）采用上述同样的方法找出第三组绕组的首、尾端。

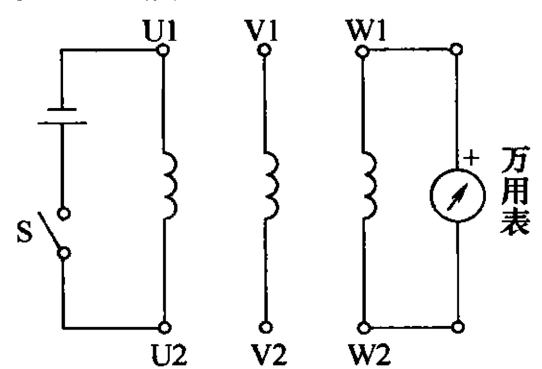


图 4-19　用干电池加压法判断三相绕组首尾示意图

（4）转向法　对小型电机，不用万用表也可用本法判定三相绕组的头尾。方法是每相绕组任意取一个端头接在一起，并将这点接到电源的零线上。再用电源两根 380V 相线分别顺序接在电机的二个出线端上（见图 4-20）（注意：一定要顺序改接，即按 U、V；V、W；W、U 顺序改接），看电机的旋转方向，如果三次接上去，电机转向是一样的，则说明三相头尾接线正确；如果三次接上去电机有两次反转，则说明参与过这两次反转的那相绕组的头尾端接反了，例如第二次 V、W 相，第三次 W、U 相都是反转，W 相有两次参与，说明 W 相头尾接反，将 W 相两个端头对调即可。

2. 内部个别绕组或极相组接错或嵌反的检查方法

将低压直流电源（一般用蓄电池）通入拟检查的一组绕组，用指南针沿着定子铁心槽上逐槽检查，如指南针在每个极相组内方向不变，在相邻的两个极相组上方向交替变化，则表示接线正确；如果在相邻的两个极相组上指南针方向相同，表示一个极相组

接反；如果在一个极相组中指南针指向是交替变化的，表明这个极相组中有的线圈嵌反。如果指南针的方向指不清楚，则应加大电源电压，再进行检查。

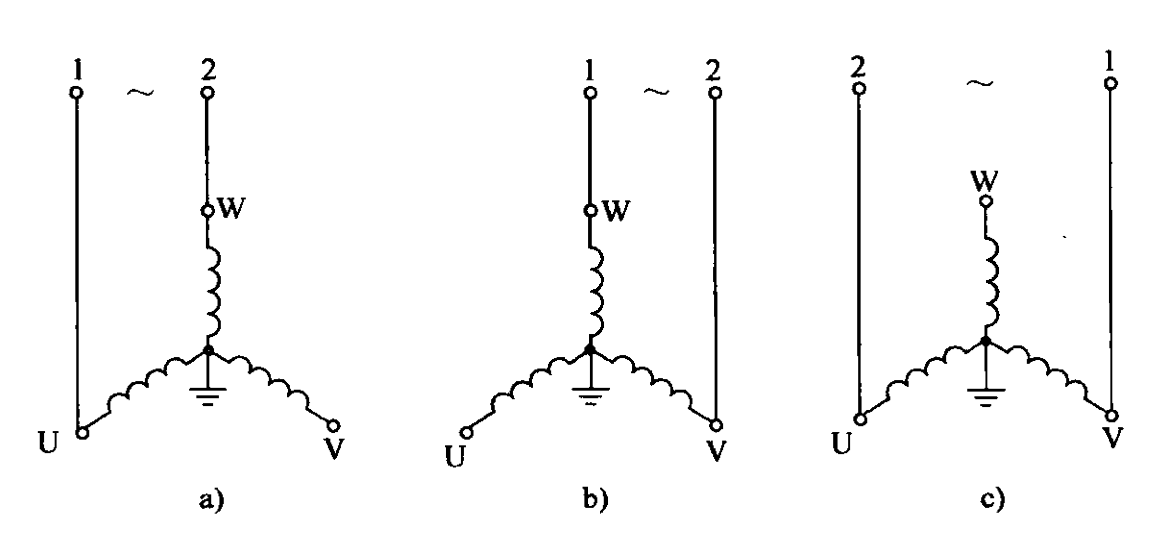


图 4-20 转向法检查绕组头尾

3. 简单的维修方法

其方法很简单，绕组头尾检查完即已查出正确的头尾，按正确的头尾接到接线盒上即可。如果相绕组内部极相组接反或线圈嵌反，找出接反的极相组或嵌反的线圈后，拆开其连接线或过桥线，重新改接纠正即可。

五、笼型转子绕组的检修

笼型转子绕组，指铸铝笼条和铝端环或铜笼条和铜端环构成的短路绕组，其易的发生故障为断条和端裂，断条后虽能空载起动，但一加负载转速会下降，定子电流增加定子三相电流大小不稳，电机发热、振动，还能产生周期性的“嗡嗡”声。

（一）断条故障的查找方法（铸铝的）

1. 电机尚未拆开以前的检查

将定子绕组接成Y接，每相接一只电流表后加上三相低电压（10% ~15% 额定电压），以免定子电流引起定子绕组温度升高，同时用手慢慢地转动转子，如果转子笼条是完好的，则电流表只有均匀的微弱摆动；如果转子笼条有断条故障，则电流表的指针便将轮流偏移较大。

对于双笼转子的检查，可在电动机带负载的情况下观察，如果电流表指针随着二倍转差率的节拍而摆动，且有周期变化的嗡嗡声，则说明转子笼中，可能存在断条、缩孔等缺陷。这一试验，特别适用于安装地点的试验。

2. 电磁感应法

此法原理与开口变压器的方法相似。用电磁感应法准确地判定笼型转子断条的槽位，如图 4-21 所示。如果转笼完好，则电流表读数较大，锯条有振动；若笼条有断裂等缺陷，则电流表读数变小，锯条不振动。

此两种方法只能找出有断条的槽，断口位置不能确定，还可用下述方法。

把通电的（单相交流电源）开口变压器横跨在笼型转子铁心的槽上，并沿着转子

铁心外圆逐槽移动，便可根据电磁感应原理找出故障点。检查时，将开口变压器的凹面跨在转子铁心槽上，在该铁心槽的另一端放一根条形薄铁片（厚约0.5～1mm）或锯条。如果笼条是完好的，开口变压器会在笼条中感应电流，并使铁片振动，如图4-22所示。这样逐槽检查，当开口变压器和薄铁片移动到某铁心槽时，铁片停止振动，则说明该铁心槽内的笼条电流不通，有断裂故障。

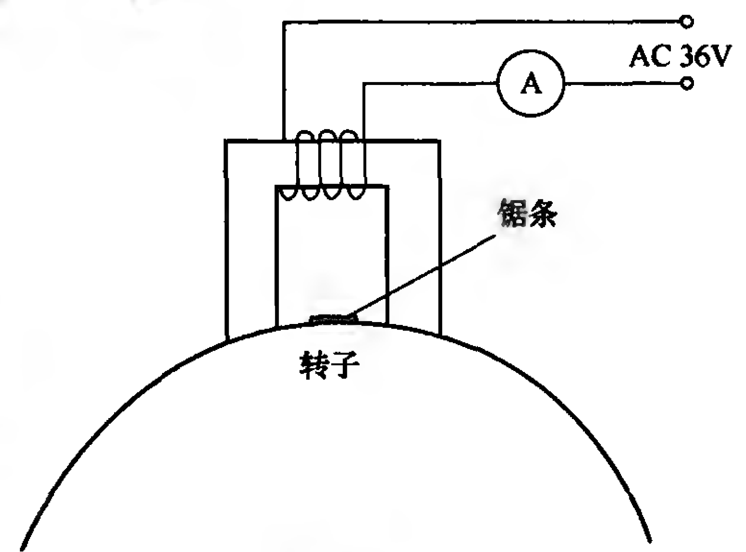


图4-21　用电磁感应法检查笼型转子断条

当断裂笼条查出后，还要找到它所断开的具体位置。如果断裂发生在笼条端部，一般可以直接看出。如果断裂发生在转子槽内，可按图4-23所示的方法进行查找。具体方法是：

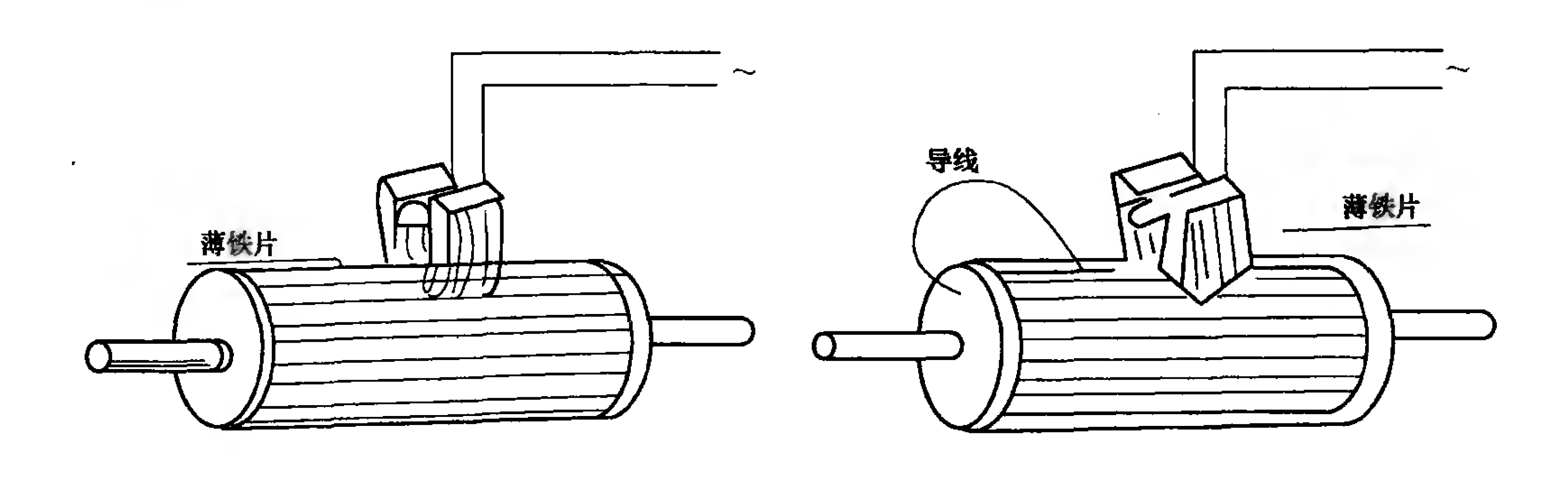


图4-22　开口变压器检查笼型绕组、断条的大概部位

图4-23　用开口变压器查找笼型转子断点的方法

在断裂笼型转子的左端焊上一根比较粗的软导线，然后把开口变压器跨在断裂的笼条上，再把薄铁片放在断裂笼条的另一端（如右端），然后将软导线的另一端（自由端）从左端开始沿断裂笼条向右移动（导线要与露在机槽外面的导体相碰接），同时移动变压器、薄铁片、软导线与转子铁心之间的相对位置，如果铁片不振动，说明断裂点在开口变压器和软导线自由端与转子接点之间，一旦软导线越过断裂点，薄铁片或锯片发生了振动，则铁片刚振动时软导线自由端左侧的位置，即为该笼条的断裂点位置。

3. 大电流铁粉法

如图4-24所示，根据电机大小调节电流大小（约300A～500A），在转子上撒上铁粉。在磁场作用下，铁粉自动沿槽面均匀排列成行，如有断条或缺陷，则铁粉出现断口或稀疏现象。用此法可准确找到断口的具体位置。

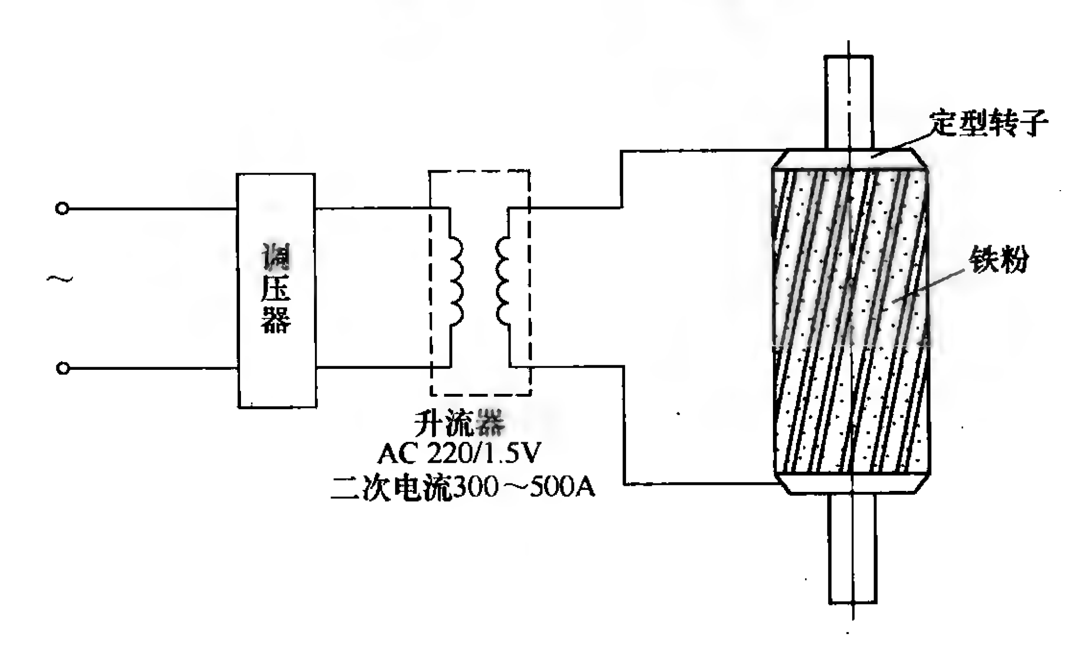


图 4-24　用大电流铁粉法检查转子断条

（二）笼型转子修理

1. 笼型转子绕组故障特征

笼型转子绕组发生断条以后，其故障现象的典型特征是：

- 未起动的电动机起动困难，带不动负载；
- 运行中的电动机转速降低，定子电流时大时小，电流表指针呈周期性摆动，电机热、机身振动，还可能产生周期性的“嗡嗡”声。

2. 笼型转子绕组故障原因

导致笼型转子断条故障的原因一般是由于铸铝或铸铜笼型转子的质量不良、制造工艺粗糙或结构设计不佳，也可能是使用时经常正反转起动或过载引起的。

转子断条故障一般发生在笼条与端环的连接处，但也可能发生在转子槽内。

3. 笼型转子绕组断条故障修理方法

（1）轻微损坏的修理　找到了断裂点后，在断裂点中间，用一个与机槽宽度相近的钻头钻个孔，并用丝锥绞丝，然后将螺钉拧上（如果是铜导体用铜螺钉；如果是铸铝，则需特制一个铝螺钉），用铲刀把多余的铲去或用车床车光。

（2）严重损坏的修理　如果断裂情况比较严重，有一个很长的裂口情况，则需要将断裂处的槽用錾子錾成一个长方形的口，然后把断裂点修整齐，测量一下断裂口的长度和宽度，再按照断裂口的大小，用适当的材料（如果是铜导体则找一块体积和断裂口大小相同的铜料；如果是铝导线，则需找铝件）嵌入机槽内，而在它的两端还要钻孔绞丝并拧上螺钉。

（3）以上的修理办法是临时处理方法，最好是重新铸铝或换转子。

六、绕线转子的重绕工艺

（一）记录原始数据

在拆除旧绕组之前，要按要求尽量多记录一些原始数据，所要记录的内容应该包括型号、容量、定子电压、定子电流、定子绕组连接、转速、频率、转子电压、转子电

流、转子绕组连接、绝缘等级、运行方式、功率因数、效率、振动、噪声、出厂编号、制造厂、出品日期等内容。

上述这些数据是铭牌上的数据，检查无误后便可以准备进行拆检，但在拆检前还应该做以下准备，首先填写记录卡，并根据转子的形状画一张简图并标注上尺寸线，待拆检时填写数据用，如图 4-25 与图 4-26 所示。

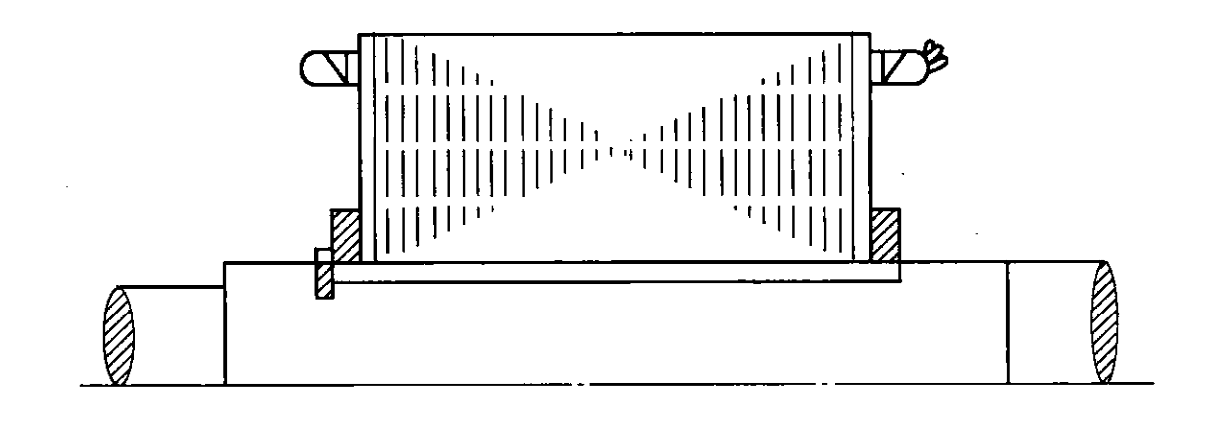


图 4-25　散线转子简图

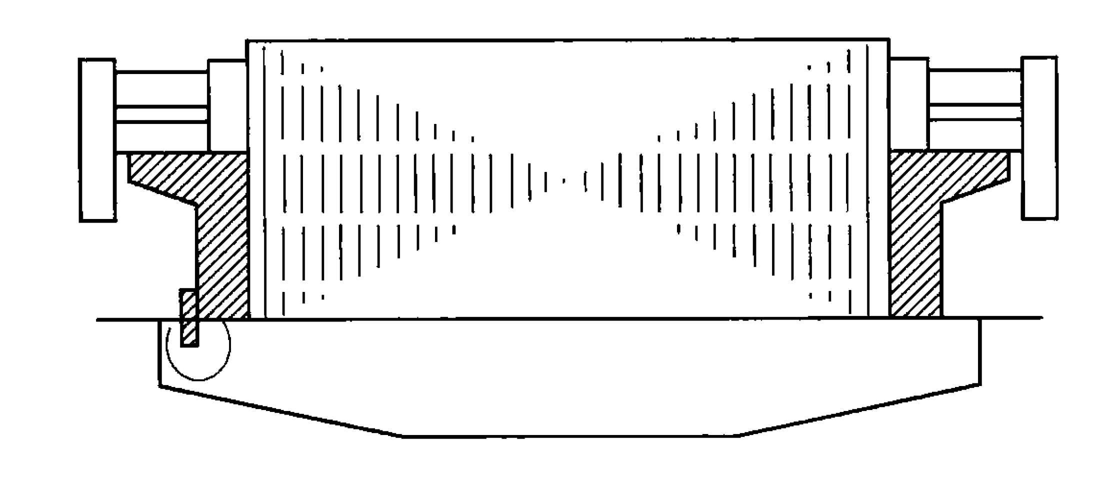


图 4-26　硬线转子简图

制做的记录卡应包含转子铁心长度、转子槽数、转子铁心外径、气隙尺寸、通风道个数、通风道宽度、槽形尺寸、无纬带层数、绕组型式、绕组连接、并联路数、线圈节距、导线规格、并绕根数、线圈匝数、每槽导体数、线圈尺寸、绝缘材料、绝缘结构各部分尺寸等内容。

（二）拆除旧绕组

1. 拆除接线、中线和并头套

用烙铁、喷灯、电阻焊钳加热等方法，熔开绕组接线和并头套等，并清理干净和保存好（只对锡焊绕组）。

2. 拆除接线、中线

用大剪刀剪开绕组焊接处，并清理干净和保存好（只对氩弧焊绕组）。

3. 拆下绕组

拆散嵌转子绕组的方法同定子绕组。拆硬嵌转子绕组时，选将扁线两端绝缘清理干净，然后把低压变压器二次侧线夹子夹在扁线两端，接通电源，使大电流经扁线，待扁线绝缘烧焦冒烟，端部铜线呈暗红色时将扁线抽出，然后迅速投入冷水中退火，如果变压器容量足够大，可同时加热数根扁线，再采用同样的方法拆除。

4. 清理铁心槽部

（三）制作线圈

（1）将拆下的旧扁铜线整理好　将两端磨平，去掉毛刺及凸出部位后，再包扎线圈绝缘，先包直线部位，后包两头端部绝缘，直线处绝缘和端部处绝缘搭接处尺寸要严格控制，以保证线圈能顺利插入槽内。

（2）转子绕组绝缘规范　见表4-7。

表4-7　转子绝缘规范（F级）

序号	部位	名称	材　料	规格/mm	层数	绝缘方法	绕组硬嵌	绕组散嵌
1	线圈直线部位 线圈端部部位	衬绝缘外敷绝缘 衬绝缘外敷绝缘	0.15F级粉云母箔 0.09F级上胶布 0.05聚酰亚胺薄膜带 0.1无碱带	0.15 0.09 0.05 0.1	$2\frac{1}{2}$ $3\frac{1}{3}$ 2 1	卷包 卷包 半叠包 半叠包	✓ ✓ ✓ ✓	
2	中线	衬绝缘 外敷绝缘	0.15漆布2450 0.1无碱带	0.15 0.1	2 1	半叠包 半叠包	✓ ✓	
3	槽部	槽楔 槽衬 中垫 底垫	3240层压板 0.3复合箔NMN 0.15F77玻璃漆布 3240层压板 3240层压板	1~3厚 0.3 0.15 0.5 0.5			✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓
4	相间绝缘 层间绝缘		0.3复合箔NMN 0.3复合箔NMN	0.3 0.3			✓ ✓	✓ ✓
4	端部	层间绝缘	0.3复合箔NMN	0.3			✓	
5	支架绝缘 并头套 并头套	 绝缘 绝缘	0.3复合箔NMN 硅橡胶管2751 硅有机玻璃漆布带	0.3			✓ ✓ ✓	

（续）

序号	部位	名称	材　料	规格/mm	层数	绝缘方法	绕组硬嵌	绕组散嵌
6	支架	绑扎	0.1 无碱带		1	包绕	✓	
	端部	绑扎	0.2 聚胺酰亚胺无纬带	0.2	15	包绕	✓	✓
	端部	层间	0.1 无碱带		1	包绕	✓	
	集电环与转子连接处		0.1 漆带 2450		1	包绕	✓	✓
			0.1 无碱带		1	包绕	✓	✓

注：表中"✓"表示选用。

（四）嵌线

（1）准备嵌线材料和工具　需准备的材料和工具有槽楔、层间垫条、槽底垫条、层间绝缘、转子支架、压缩空气、嵌线工具等。

（2）安放好转子铁心　将转子铁心吊到转子嵌线架上，仔细检查铁心槽部清理情况，除去槽内一切杂物，并用压缩空气将铁心吹干净。

（3）包扎支架绝缘和插放槽底垫条　按绝缘规范要求或原始记录，包扎支架绝缘，插放槽底垫条和槽内绝缘。要求槽底垫条和槽绝缘两端伸出铁心长度要一致。要求包扎支架绝缘的无碱带应拉紧，使各层绝缘平整服贴。

（4）定好槽位　按原始记录和接线图，画出嵌线标记，定好槽位，即用笔标出引出线、换层线等位置。

（5）穿好下层线　从非集电环端穿入下层线，在下层线全部按原始记录或图纸穿入后，再用绳将集电环端的线圈临时扎紧。

（6）包扎集电环端层间绝缘　按原始记录或图纸，包扎集电环端的层间绝缘，边包边用木锤敲打，使端部紧贴支架绝缘。

（7）插入换层线　插入换层线后，分别从集电环端和非集电环端插入换层槽斜楔，使集电环端的线端位于上层，非集电环端的线端位于下层。非集电环端插入上层线，槽楔等。出线端绕组焊接或装好并头套并打入铜楔。

（五）接线

按照拆下前记录的线圈跨距，用并头套将上、下层线圈的端部联结起来，然后焊接接头。

（六）绝缘规范（见表 4-8）

散嵌绕组绝缘规范（1140V 以下）通用于定转子。

七、重绕计算

（一）定子重绕计算

对于需要拆卸的损坏绕组进行重绕修复的电动机，其所配新绕组的数据，包括绕组型式、线圈匝数、导线尺寸、连接方式等，尽可能根据该电动机的铭牌和测绘数据，再查阅有关资料、手册来选定。只有在无铭牌难以辨认电动机型号规格，或损坏绕组数据不可靠，或非国内标准产品，查不到有关绕组数据等情况下，才进行绕组的重绕计算。

表 4-8 定子绝缘规范

部位	项	名称	材料						层数	绝缘方式	备注
			F 级			H 级					
			名称型号	标准代号	规格	名称型号	标准代号	规格			
	1	导线	改性聚酯漆包铜圆线 QZ(G) –2/155	GB/T 6109.2		聚酯亚胺漆包铜圆线 QZY-2/180	GB/T 6109.5				H315 以下
	2		改性聚酯漆包铜圆线 QZ(G)-3/155			聚酯亚胺漆包铜圆线 QZY-3/180					H355 以上
槽部	3	槽绝缘	聚酰亚胺薄膜 6050	JB/T 2726	注 1	聚酰亚胺薄膜 6050	JB/T 4062.1	见 2.1.1	1	插入	
	4		聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料 6640	JB/T 4061.1	注 2	聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料 6650			1		
	5	层绝缘	聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料 6640	JB/T 4061.1	注 3			见 2.1.2	1		双层绕组
	6	相边绝缘	聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料 6640		注 4			见 2.1.3	11		单层绕组
	7	槽楔	聚酯玻璃引拔槽楔或 3240 环氧酚醛玻璃布板	GB/T 1303		H 级双马来酰亚胺玻璃层压板 9334					长度与相应槽绝缘长度一致
	8	相间绝缘	聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料 6640	JB/T 4061.1	见 2.2	聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料 6650	JB/T 4062.1	见 2.2	1		

（续）

部位	项	名称	材料						层数	绝缘方式	备注
			F级			H级					
			名称型号	标准代号	规格	名称型号	标准代号	规格			
端部	9	无碱玻璃纤维带 ET100	无碱玻璃纤维带 ET100	JC/T 174	0.1	无碱玻璃纤维带 ET100	JC/T174	0.1		半叠包	2P 绕组包尖子，长度 > 端部长
	10	端部包扎	聚酯纤维带		0.1×25	聚酯纤维带		0.1×25	1	轴向包扎	H160 以下不包尖子绕组端部“大包”
			聚酯纤维带		0.2×30	聚酯纤维带		0.2×30			H180 以上不包尖子绕组端部“大包”
	11		无纬带	JB/T 6236	0.3	无纬带	JB/T 6236	0.3	5－10	径向包扎	H250 以上绕组包扎
	12	端部绑扎	无碱玻璃纤维套管 ESL							绑扎	非“大包”绕组端部绑扎，H315 以上的 2P 绕组用双根无碱套管
	13	线圈连接接头绝缘	粉云母带 5444-1		0.14×25	粉云母带 5450-1		0.14×25	3	半叠包	
	14		硅橡胶玻璃纤维软管 2760-2	JB/T 8151.1		硅橡胶玻璃纤维软管 2760-2	JB/T 8151.1		1	套入	
	15	并联线路绝缘							1		

（续）

部位	项	名称	材料						层数	绝缘方式	备注
			F 级			H 级					
			名称型号	标准代号	规格	名称型号	标准代号	规格			
端部	16	引接线接头绝缘	粉云母带 5444-1		0.14×25	粉云母带 5450-1		0.14×25	3	半叠包	
	17		硅橡胶玻璃纤维软管 2760-2	JB/T 8151.1		硅橡胶玻璃纤维软管 2760-2	JB/T 8151.1	1	1	套入	
	18	引接线	JYJ125	JB6213	1140V	JYJ15	JB6213	1140V			
有绕组定子铁心	19	浸渍漆	F 级无溶剂浸渍漆			H 级无溶剂浸渍漆					

注：1. 槽绝缘厚度为

- 中心高 H80～H132：0.3mm（复合材料）+0.05mm（亚胺膜），每端伸出压圈 8～10mm。
- 中心高 H160～315：0.2mm×2（复合材料+0.05mm（亚胺膜），每端伸出压圈 8～10mm。
- 中心高 H355～450：0.2mm×2（复合材料+0.1mm（亚胺膜），每端伸出压圈 8～10mm。

亚胺膜两端挽袖，进槽部分 5～10mm。每端伸出部分若无压圈按伸出端板计算。

2. 层间绝缘厚度为

- 中心高 H80～H132：0.3mm，2P 绕组每端比槽绝缘长 30～40mm，其余每端比槽绝缘长 20～30mm。
- 中心高 H160～H315：0.2mm×2，2P 绕组每端比槽绝缘长 40～50mm，其余每端比槽绝缘长 30～40mm。
- 中心高 H355～H3450：0.2mm×2，2P 绕组每端比槽绝缘长 50～70mm，其余每端比槽绝缘长 40～60mm。

3. 相边绝缘厚度为

- 中心高 H80～H112；0.25mm，每端比槽绝缘长 20～30mm；
- 中心高 H132～H160，0.3mm，每端比槽绝缘长 20～30mm。

4. 相间绝缘厚度为

- 中心高 H80～H132，0.3mm。
- 中心高 H160～H450，0.2mm×2。

1. 测量铁心数据

重绕计算的第一步是测量该电动机的铁心数据。它包括定子外径 D_1、内径 D_i、铁心长度 L、定子槽数 Q_1 及其槽尺寸。如果还涉及绕线转子绕组，还应包括转子槽数 Q_2 及其槽尺寸。单位均取 mm。铁心长度的测量要注意到不能把两侧齿张出来的长度计入。槽尺寸可以用白纸贴在铁心侧面，按出槽形来测量，尽可能精确到0.1mm，图4-27表示应该测量的槽尺寸数据。

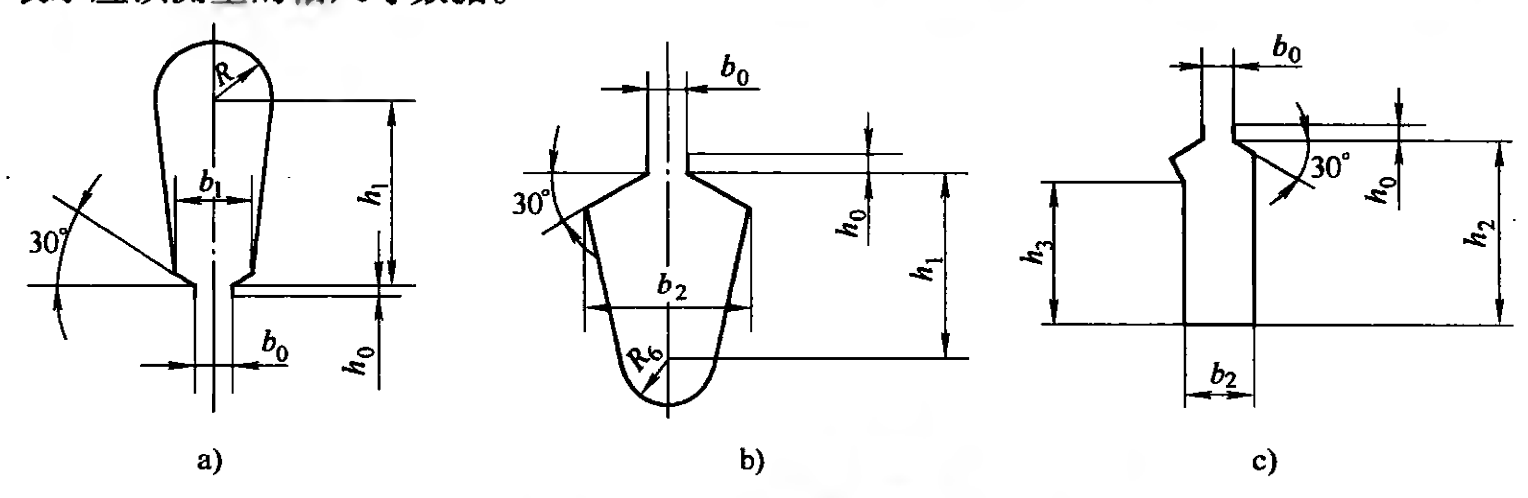


图4-27　应该测量的槽尺寸

a）定子槽　b）转子软绕组槽　c）转子硬绕组槽

2. 极数的判定

如果没有铭牌数据，原来电动机的运行极数，可以从定子内外径比看出。极数少的电动机，定子内径与定子外径比值偏小。但对起重及冶金用电动机，一般都是在6、8、10极下运行，极数接近。生产厂考虑落料模的通用性，往往是一种定子外径只配一种定子内径，因此就判断不出原来电动机的极数。那么原电动机的运行极数，还可以从原来绕组的节距来判断，因一般采用的短节距绕组，节距总是比极距稍小一些，故可以从节距估计极距以判断极数。又如果原来电动机是个空壳的铁心，电动机定子的每极每相槽数 $q_1=Q_1/2pm$（式中 p 为极对数，m 为相数）。总是整数或分母为2的分数。那么 $Q_1=45$ 或54很可能是六极；$Q_1=60$ 就可能是六极；$Q_1=72$ 不可能是十极；$Q_1=75$ 或90就只能是十极。再辅以一般小机座号极数少，大机座号极数多的要领，那么定子外径210mm及以下很可能是六极，定子外径493mm及以上不可能是六极；定子外径560mm及以上只能是十极。以上从定子外径及槽数也可判断出原来空壳的起重及冶金用电动机的极数。

3. 绕组型式与线圈匝数的选择

起重及冶金用电动机的定子绕组，习惯上都采用双层叠绕（一般通用的异步电动机小机座号是采用单层的），这是因为该电动机要考虑到具有更高的过载能力，故不论机座号大小，都采用双层绕组，以减小定子漏抗的性能要求。

选定线圈匝数与导线尺寸，这是重绕计算的核心。这两项尤以线圈匝数为首要。若匝数选得过多，则电动机的漏抗值过大，也即电负荷过大，影响电动机的过载能力；而若匝数选得过少，则电动机需要的磁通量大，磁负荷过大，即磁路过饱和，空载电流过

大。选定每线圈匝数后，才可以根据槽满率选定导线尺寸，并适当降低电流密度和热负荷，降低电动机温升。

对380V电源，采用Y连接的起重及冶金用电动机，正常磁通密度下每槽导体数为N_{sc}，即每线圈为$N_{sc}/2$匝，推荐以下经验公式：

$$N_{sc}=7.7\times10^6\times\frac{ap}{D_{il}LQ_1}\quad 取偶数 \tag{4-6}$$

式中 D_{il}——定子铁心内径（mm）；

L——定子铁心长度（mm）；

a——并联路数。

为了使每支路电流不太大，导线不太粗，焊接方便，也为了凑取更近似的偶数，容量稍大的电动机，往往采用多支路并联。大约额定功率为每5kW～15kW为一并联支路。对每极每相槽数q_1为整数的电动机，$2p/a$应为整数；而对q_1为d分数时，$\frac{2p}{ad}$应为整数（d为q_1的分母）。

绕组节距的选取

$$y_1=(0.77\sim0.94)\frac{Q_1}{2p}\quad 取整数 \tag{4-7}$$

如果电机结构尺寸轴向长度不紧张，一般多取上限。

4. 导线尺寸与槽满率

导线尺寸的选定原则是在槽内放得下，即槽满率合适的前提下，尽量有较大的导线截面积。按习惯，绕组的槽满率可如下计算：

去掉槽楔后的空槽面积A_s(mm^2)为

$$A_s=\frac{b_1+2R}{2}(h_1-h)+1.57R^2 \tag{4-8}$$

式中 h——槽楔厚度，除定子外径493mm及以上取3mm外，一般取2mm；

A_s——减去槽绝缘所占面积A_i，即为槽有效面积A_e。

对单层绕组槽绝缘所占面积A_i(mm^2)为

$$A_i=C_i(2h_1+\pi R) \tag{4-9}$$

对双层绕组槽绝缘所占面积A_i(mm^2)为

$$A_i=C_i(2h_1+\pi R+2R+b_1) \tag{4-10}$$

式中 C_i——槽绝缘厚度，可按表4-9选取。

$$A_e=A_s-A_i \tag{4-11}$$

则槽满率S_f为

$$s_f=\frac{N_{sc}N_t'd'^2}{A_e}\times100\% \tag{4-12}$$

式中 N_{sc}——每槽导体数；

N_t'——每导体的并联根数；

d'——带绝缘漆膜的导线直径（mm）。起重及冶金用电动机常用的圆裸导线直径 d(mm)有0.9、0.95、1.0、1.06、1.12、1.18、1.25、1.3、1.4、1.5。带绝缘漆膜后导线直径的增加值为：当 $d \geqslant 1$mm 时为0.8mm，当 $d < 1$mm 时为0.06mm。

表 4-9　槽绝缘厚度

定子外径/mm	槽绝缘厚度/mm	定子外径/mm	槽绝缘厚度/mm
182	0.25	280、327、368、423	0.35
210、245	0.3	493、560	0.5

对起重及冶金电动机，槽满率一般控制在70%～75%。槽满率过高嵌线费工时，槽绝缘易破损；过低则说明电机利用率不高。

5. 线圈尺寸的算法

散线圈尺寸如图4-28所示。

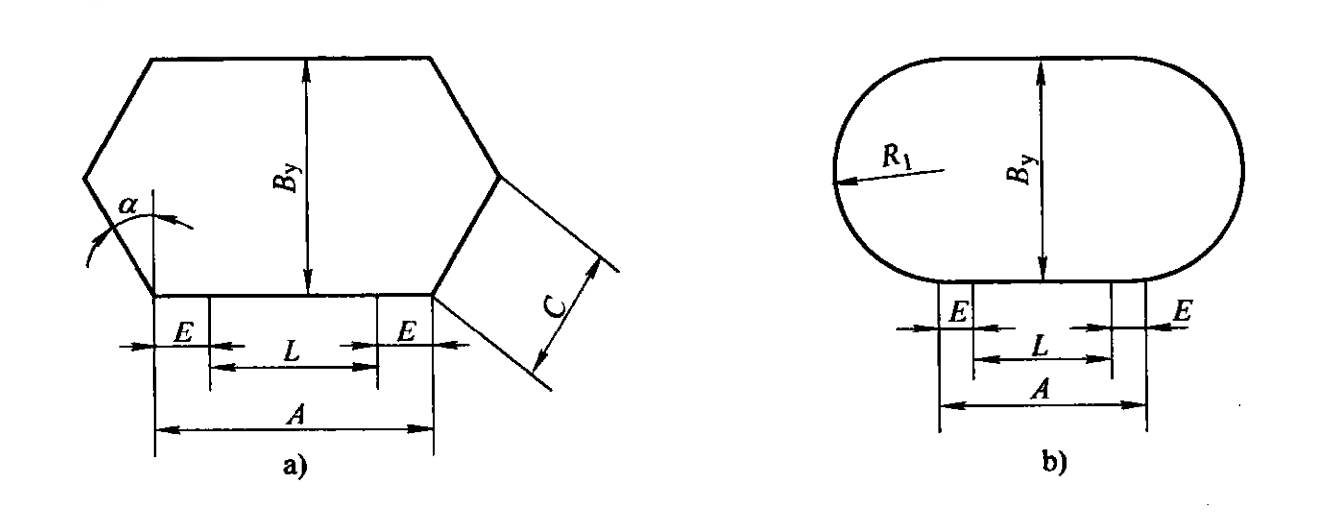


图4-28　散线圈尺寸图
a）双层叠绕　b）单层链式

线圈的直线部分伸出铁心一段距离为 E(mm)(见表4-10)，则

$$A = L + 2E \tag{4-13}$$

表 4-10　线圈直线部分伸出铁心长

定子外径/mm	线圈直线部分一端伸出铁心长/mm	定子外径/mm	线圈直线部分一端伸出铁心长/mm
182	10	368、423	25
210、245	15		
280、327	20	493、560	30

对双层叠绕组，线圈宽度 B_y(mm)为

$$B_y=\frac{\pi(D_i+2h_0+h_1+R)}{Q_1}y_1 \tag{4-14}$$

线圈斜边 C(mm)为

$$C=\frac{B_y}{2\cos\alpha} \tag{4-15}$$

$$\sin\alpha=\frac{b_1+2R}{b_1+2R+b_{t1}+b_{t2}}(\alpha\text{ 见图 4-28})$$

定子下端齿宽 b_{t1}(mm)为

$$b_{t1}=\frac{\pi\left[D_{il}+2h_0+\frac{(b_1-b_0)}{\sqrt{3}}\right]}{Q_1}-b_1$$

定子上端齿宽降 b_{t1}(mm)为

$$b_{t2}=\frac{\pi(D_{il}+2h_0+2h_1)}{Q_1}-2R$$

（二）转子重绕计算

一般重绕计算都是指定子绕组的。而转子绕组损坏也需重绕，如果没有充分的原始数据也要进行重绕计算。

但集电环的耐压等级为500V，故也不能使转子开路电压高于此值。小容量的也只有(100～200)V，不高于300V；也不宜太低，太低则集电环电流过大。

转子绕组都采用Y联结。定子外径493mm及以上的采用条形硬绕组，为每槽2导体的双层波绕组。直径小于此者，采用散线绕组，其中每极每相转子槽数 $q_2=Q_2/2p_m$，为2者采用单层链式较为方便，而大于2者为双层叠绕组。

对起重及冶金电动机定转子绕组都是Y联结的情况下，转子集电环间的开路电压估算：

$$U_2=380\times\frac{Q_2N_{sc2}\alpha_1}{Q_1N_{sc1}\alpha_2} \tag{4-16}$$

U_2 应 <500V

双层转子绕组的节距 y_2，一般取全节距。

$$y_2=\frac{Q_2}{2p}\text{取整数} \tag{4-17}$$

散线转子绕组的槽楔与槽绝缘厚度至少不薄于定子，因为转子是转动的。导线尺寸也是由槽满率决定，槽满率的计算公式与定子相同。对 $q_2=2$ 的单层链式线圈尺寸（见

图 4-28)，可按如下经验公式

$$A = L + 2E \tag{4-18}$$

$$B_y = 4.45 \times \frac{\pi(D_{il} - 2h_0 - h_2 - R)}{Q_2} \tag{4-19}$$

$$R_1 = 0.625B_y \tag{4-20}$$

硬元件的导条尺寸：

$$b = b_2 - 2.64 \tag{4-21}$$

其余标准尺寸（见图 4-29）

$$h = \frac{h_3 - 7.61}{2} \tag{4-22}$$

为防止转子运转时，绕组端部受离心力而变形甚至甩出，两侧端部均需绑扎。早期产品用钢丝，现在都用无纬带。钢丝的极限抗拉强度为 1500N/mm²，聚脂 B-17(0.17×25mm)无纬带的极限抗拉强度为 4250N/mm²。

设有一台转子每端用 ф1.5 钢丝 18 匝绑扎，重绕后改用聚脂 B-17(0.17×25mm)无纬带。先算出原钢丝的抗拉断力为

$$1500 \times \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 \times 18 = 47713\text{N}$$

改用无纬带应绑扎的匝数为

$$\frac{47713}{4250} = 11.23 \text{ 匝}$$

取 11 匝。

(三) 修复型重绕计算举例

以 YZR315、75kW、8 极电动机为例，假设只有无铭牌的空壳，没有现成的绕组数据。现在重绕，计算其定转子绕组。

先从铁心测得原始数据：$D_1 = 493$，$D_i = 400$，$L = 340$，$Q_1 = 72$，$Q_2 = 96$，$b_0 = 3.5$，$h_0 = 0.5$，$b_1 = 9.6$，$R = 5.5$，$h_1 = 17.5$，$b_0 = 1.5$，$h_0 = 1.8$，$b_2 = 5.1$，$h_2 = 45.5$，$h_3 = 41$。单位均为 mm。

从转子槽形知转子绕组为条形硬元件，每槽 2 导体的双层波绕组。

1. 极数判断

根据定子齿部和轭部磁通密度的合理分配关系，电动机极数可按下式估算：

$$2p = (0.35 \sim 0.4)\frac{Z_1 b_a}{h}$$

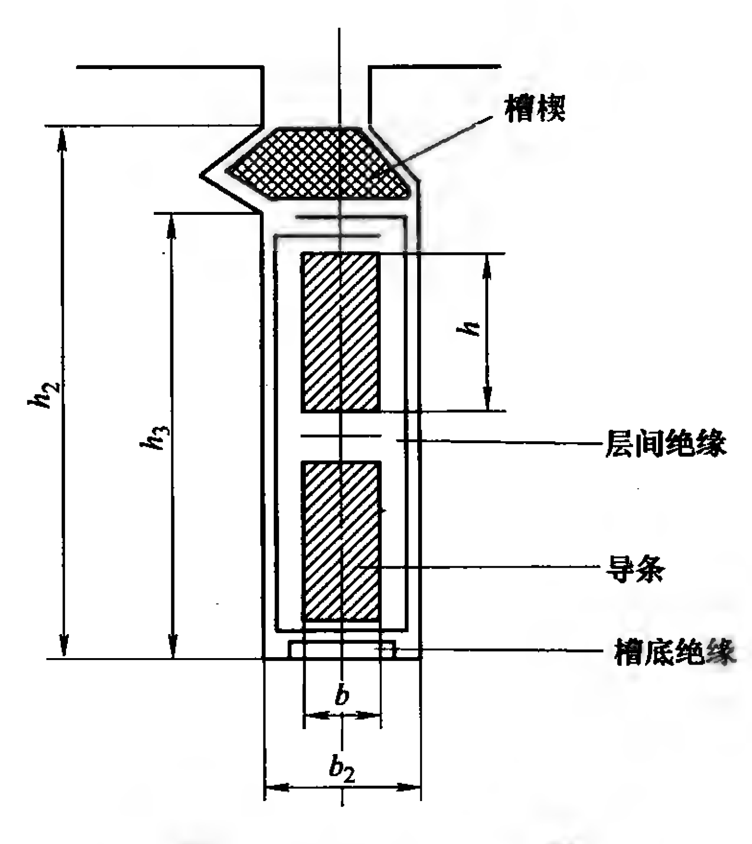


图 4-29　转子条形绕组槽内绝缘示意图

式中 $2p$——极数；

b_a——定子齿宽（cm）；

h——定子轭高（cm）；

Z_1——定子槽数。

2. 定子绕组重绕计算

定子绕组为双层叠绕。因该电机在起重及冶金电动机中容量较大，试取并联路数 $\alpha_1=8$。按下列公式，估算每槽导线数

$$N_{s1}=7.7\times10^6\frac{\alpha_1 p}{D_i L Q_1}=7.7\times10^6\times\frac{8\times4}{400\times340\times72}=25.16$$

取偶数 26

再按式（4-7）选绕组节距

$$\gamma_1=(0.77\sim0.94)\frac{Q_1}{2p}=(0.77\sim0.94)\times\frac{72}{8}=6.93\sim8.46$$

取整数 7 或 8 均合理。

取槽楔厚 $h=3\text{mm}$，槽绝缘厚 $C_i=0.5\text{mm}$。按式（4-8）、（4-9）、（4-10）、（4-11）得

$A_s=196.87\text{mm}^2$ $A_i=36.44\text{mm}^2$ $A_e=160.43\text{mm}^2$

选用导线：

方案一 $2-\phi1.4$

方案二 $1-\phi1.5$

$1-\phi1.4$

方案三 $2-\phi1.18$

$1-\phi1.12$

求得相应槽满率为

方案一

$$s_f=\frac{N_{sc}N_t'd'^2}{A_e}=\frac{26\times2\times1.48^2}{160.43}=71.0\%$$

方案二

$$s_f=\frac{26\times(1.58^2\times1.48^2)}{160.43}=76.0\%$$

$>75\%$ 否定

方案三

$$s_f=\frac{26\times(2\times1.26^2+1\times1.12^2)}{160.43}=74.8\%$$

以上计算认为：选定每槽导线数为26，即每圈13匝的前提下，两种节距方案及两种导线方案（方案一及方案三），即组合成2×2=4种方案，均属合理。

然后计算线圈尺寸，即图4-28a中的A、B_y及C值。按式（4-13）得

$$A=L+2E=340+2\times30=400\text{mm}$$

按式（4-15）得

$$b_{t1}=8.051\text{mm}$$

$$b_{t2}=8.024\text{mm}$$

$$\sin\alpha=0.5617$$

再按式（4-14）及（4-15）求B_y及C值

对$y_1=7$：

$$B_y=129.5\text{mm}$$

$$C=78.3\ 取\ 78.5\text{mm}$$

对$y_2=8$：

$$B_y=148\text{mm}$$

$$C=89.4\ 取\ 89.5\text{mm}$$

绕组接线示意如图4-30所示。

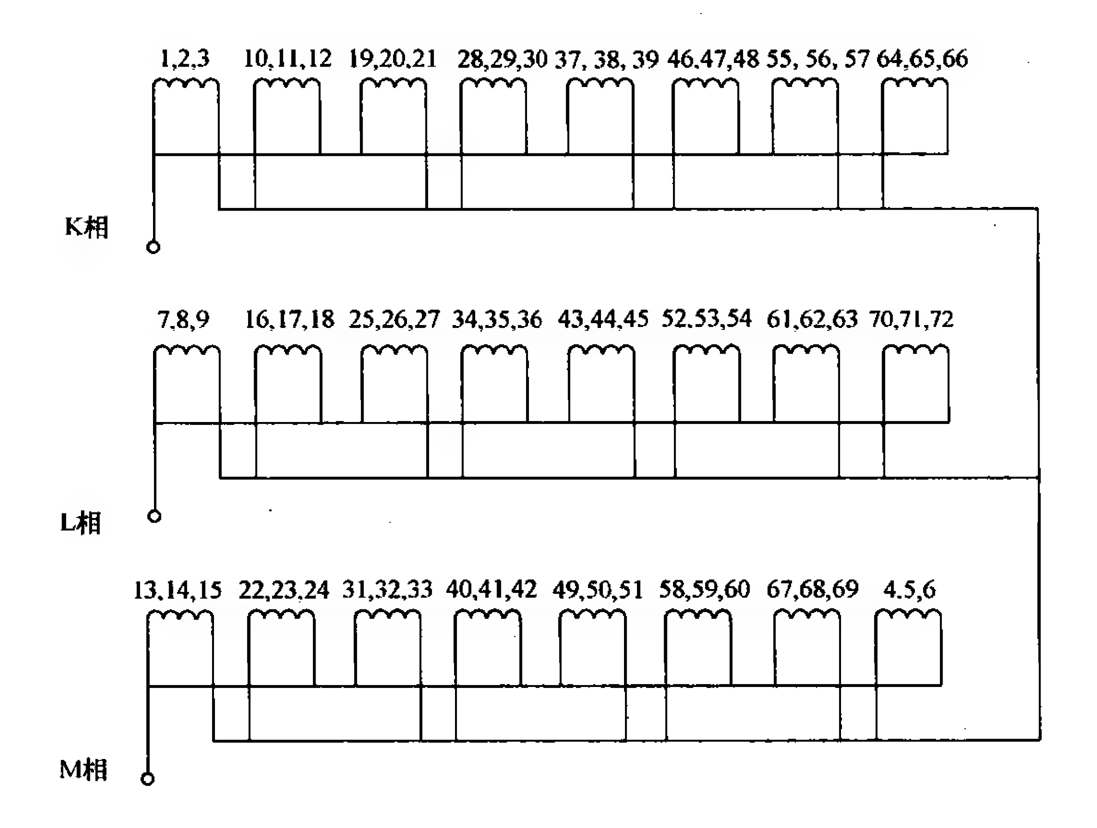


图4-30　$Q=72$，$2p=8$，$\alpha=8$绕组接线示意图

3. 转子绕组重绕计算

条形双层波绕组的导条尺寸，按式（4-21）及（4-22）计算

$$b=5.1\text{mm}-2.64\text{mm}=2.46\text{mm}\ 取\ 2.24\text{mm}$$

$$h=\frac{41\text{mm}-7.61\text{mm}}{2}=16.695\text{mm} \text{ 取 } 16\text{mm}$$

即导条尺寸为2.24×16

按式(4-16)估算集电环间的开路电压

$$U_2=U_1\times\frac{Q_2N_{sc2}\alpha_1}{Q_1N_{sc1}\alpha_2}=380\times\frac{96\times2\times8}{72\times26\times1}\text{V}=312\text{V}<500\text{V}$$

并列出各相的波绕组接线顺序：自左至右逐行连接，“上”即上层

集电环 K→4 上　16 下　28 上　40 下　52 上
64 下　76 上　88 下
3 上　15 下　27 上　39 下　51 上
63 下　75 上　87 下
2 上　14 下　26 上　38 下　50 上
62 下　74 上　86 下
1 上　13 下　25 上　37 下　49 上
61 下　73 上　85 下

4 下　16 上　28 下　40 上　52 下
64 上　76 下　88 上
3 下　15 上　27 下　39 上　51 下
63 上　75 下　87 上
2 下　14 上　26 下　38 上　50 下
62 上　74 下　86 上
1 下　13 上　25 下　37 上　49 下
61 上　73 下　85 上→中点

因为三相互差120°电角度，而转子每槽间的电角度为$360p/Q_2=360\times4/96=15°$，故将K相向前移120/15=8槽，即构成L相绕组，再向前移8槽即构成M相绕组。也就是：

集电环 L→12 上　24 下　36 上　48 下　60 上
72 下　84 上　96 下
11 上　23 下　35 上　47 下　59 上
71 下　83 上　95 下
10 上　22 下　34 上　46 下　58 上
70 下　82 上　94 下
9 上　21 下　33 上　45 下　57 上
69 下　81 上　93 下

12 下　24 上　36 下　48 上　60 下
72 上　84 下　96 上
11 下　23 上　35 下　47 上　59 下
71 上　83 下　95 上
10 下　22 上　34 下　46 上　58 下
70 上　82 下　94 上
9 下　21 上　33 下　45 上　57 下
69 上　81 下　93 上→　中点
集电环 M→20 上　32 下　44 上　56 下　68 上
80 下　92 上　8 下
19 上　31 下　43 上　55 下　67 上
79 下　91 上　7 下
18 上　30 下　42 上　54 下　66 上
78 下　90 上　6 下
17 上　29 下　41 上　53 下　65 上
77 下　89 上　5 下

20 下　32 上　44 下　56 上　68 下
80 上　92 下　8 上
19 下　31 上　43 下　55 上　67 下
79 上　91 下　7 上
18 下　30 上　42 下　54 上　66 下
78 上　90 下　6 上
17 下　29 上　41 下　53 上　65 下
77 上　89 下　5 上→　中点

条形波绕组的特点是线圈间通过并头套连接，省去线圈间连线。本例每相绕组只有三根短连接线。如 K 相为集电环 K 至 4 上，85 下至 4 下及 85 上至中点；L 相为集电环 L 至 12 上，93 下至 12 下及 93 上至中点；M 相为集电环 M 至 20 上，5 下至 20 下及 5 上至中点。

（四）改极重绕计算

1. 从定转子槽数判断改极的可能性

起重及冶金用电动机如需利用原铁心改变极数以改变转速，则叫改极重绕。没有现成的改极绕组数据，只有通过计算。

同一外径不同极数的起重及冶金用电动机，为了通用落料模，采用同一内径，但定转子槽数往往是不同的。

改极重绕计算前要核对改极后槽配合是否合适，即判断改极的可能性。

对笼形转子电动机，为避免产生严重寄生转矩及电磁噪声，要求

$Q_2 \neq 6Kp$

$Q_2 \neq Q_1 \pm p$

$Q_2 \neq Q_1 \pm 2p$

$Q_2 \neq 0.5Q_1 \pm p$

$Q_2 \neq 2Q_1 \pm p$

$Q_2 \neq 6Kp \pm 1$

$Q_2 \neq 6Kp(2p \pm 1)$

式中　K——自然整数：1、2、3……。

对绕线转子电动机，当改成6极时希望 Q_2 为9的倍数，否则不能构成三相对称绕组。对软元件绕组，三相轻微不对称并不影响实际运行；但对条形波绕组，则绕组端部需要较多线圈连接线，转子铁心与集电环之间没有足够的空间安置，绕组构成困难以至不可能。

2. 计算要点

改极重绕计算的要点是改变线圈匝数与节距，导线尺寸数据槽满率也要求相应改变。由少极改为多极时，仍可按前述思路及公式计算。即改极后匝数增多，节距缩短，导线尺寸变小，额定功率也相应降低。但由多极改为少极时，还要注意到轭部（尤其是定子）磁通密度的增高，要进行核算

每相串联匝数 $N_{\Phi P}$

$$N_{\Phi P} = \frac{N_{sc1} Q_1}{6a} \tag{4-23}$$

每极磁通 Φ(Wb)

$$\Phi = \frac{380}{\sqrt{3} \times 222 \times N_{\phi}} \tag{4-24}$$

定子轭高 h_{j1}

$$h_{j1} = \frac{D_1 - D_i}{2} - \left(h_0 + h_1 + \frac{2}{3}R\right) \tag{4-25}$$

定子轭磁通密度 B_{j1}(T)

$$B_{j1} = \frac{\Phi}{1.9Lh_{j1}} \times 10^6 \tag{4-26}$$

B_{j1}应 < 1.65T

由式（4-6）得出每槽导体数 N_{sc}后，代入式（4-23）～（4-26）中，如果算出 $B_{j1} > 1.65$T，则增加 N_s，重复代入式（4-23）～（4-26）中，至 $B_{j1} \leqslant 1.65$T 为止。由多极改为少极时，定子绕组的每线圈匝数往往是由轭磁通密度限制选定的，比式（4-6）所选的要略高。极数改少后，额定功率能相应增加，但达不到与极数成反比。由少极改为多极，不必进行轭磁通密度核算。

改极后定转子往往每极每相槽数不再是整数。分数槽绕组的排列方法在下面用例说明。

由多极改为少极时，还要注意到由于转速提高，绕线转子端部绑扎匝数应按转速平

方成正比增加。

3. 改极重绕计算举例

前例由 8 极改 10 极。

按式（4-1）取 $a=2$

$\frac{2p}{ad}=\frac{2\times5}{2\times5}=1$，整数。得 $N_{sc}=7.86$，取 $N_{sc}=8$。

按式（4-2）得 $y_1=5.6\sim6.7$，取 $y_1=6$。

取导线尺寸 $6-\phi1.5$，按式（4-7）得槽满率 $S_f=74.7\%<75\%$。

按式（4-8）、式（4-9）、式（4-10）得线圈尺寸：$A=400\text{mm}$　$B_y=111\text{mm}$　$C=67.5\text{mm}$。

定子绕组 $q_1=\frac{72}{10\times3}2\frac{2}{5}$，为分数槽绕组。即 5 个极相组中有 2 个为 3 槽，3 个为 2 槽。线圈组按 2，3，2，3，2 次序排列。绕组接线示意图如图 4-31 所示。

图 4-31　$Q=72$，$2p=10$，$a=2$ 绕组接线示意

转子导线尺寸与前例同。按式（4-16）估算集电环间的开路电压

$$U_2=U_1\times\frac{Q_2N_{sc2}\alpha_1}{Q_1N_{sc1}\alpha_2}=380\times\frac{96\times2\times2}{72\times8\times1}\text{V}=253\text{V}<500\text{V}$$

转子绕组 $q_2=\frac{96}{10\times3}=3\frac{1}{5}$，也为分数槽绕组，接线顺序如下：

集电环 K→4 上　14 下　23 上　33 下　42 上
52 下　61 上　71 下
80 上　90 下　3 上　13 下　22 上
32 下　41 上　51 下
60 上　70 下　79 上　89 下　2 上
12 下　21 上　31 下
40 上　50 下　59 上　69 下　79 上
88 下　1 上　11 下

59 下　79 上　40 下　30 上　21 下
11 上　2 下　88 上
79 下　69 上　60 下　50 上　41 下
31 上　22 下　12 上
3 下　89 上　80 下　70 上　61 下
51 上　42 下　32 上
23 下　13 上　4 下　90 上　81 下
71 上　62 下　52 上→　中点

集电环 L→36 上　46 下　55 上　65 下　74 上
84 下　93 上　7 下
16 上　26 下　35 上　45 下　54 上
64 下　73 上　83 下
92 上　6 下　15 上　25 下　34 上
44 下　53 上　63 下
72 上　82 下　91 上　5 下　14 上
24 下　33 上　43 下

91 下　81 上　72 下　62 上　53 下
43 上　34 下　24 上
15 下　5 上　92 下　82 上　73 下
63 上　54 下　44 上
35 下　25 上　16 下　6 上　93 下
83 上　74 下　64 上
55 下　45 上　36 下　26 上　17 下
7 上　94 下　84 上→　中点

集电环 M→68 上　78 下　87 上　1 下　10 上
20 下　29 上　39 下
48 上　58 下　67 上　77 下　86 上
96 下　9 上　19 下
28 上　38 下　47 上　57 下　66 上
76 下　85 上　95 下
8 上　18 下　27 上　37 下　46 上
56 下　65 上　75 下

27 下　17 上　8 下　94 上　85 下
75 上　66 下　56 上
47 下　37 上　28 下　18 上　9 下
95 上　86 下　76 上
67 下　57 上　48 下　38 上　29 下
19 上　10 下　96 上
87 下　77 上　68 下　58 上　49 下
39 上　30 下　20 上→　中点

每相绕组除各有短接线接集电环及中点外，都有一根线较长，即半圆周长的连接线。即 K 相的 11 下至 59 下，L 相的 43 下至 91 下，M 相的 75 下至 27 下。

第二节　附件的故障与修理

起重及冶金用绕线转子电动机的零部件较多，使用起来可靠性要低于笼型电动机。因此，对易出现故障的部位和部件应进行及时地诊断和处理。

一、集电环的故障与修理

冶金及起重用绕线转子三相异步电动机集电环结构比较简单，大致有两种结构，一种是压塑式集电环，一种是套筒式集电环（见图 4-32 和图 4-33）。

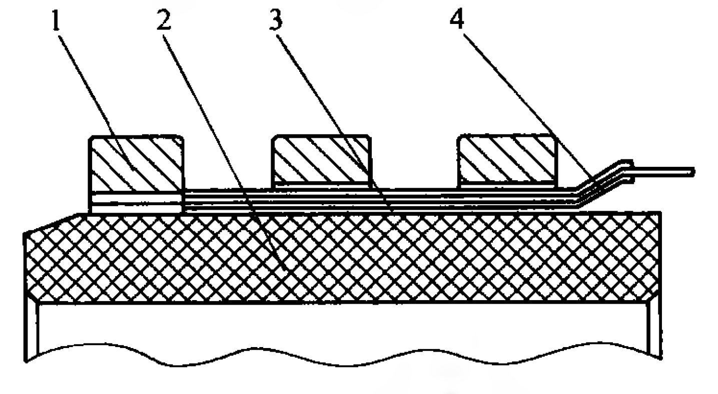


图 4-32　套筒式集电环

1—铜环　2—套筒　3—绝缘套　4—接线片

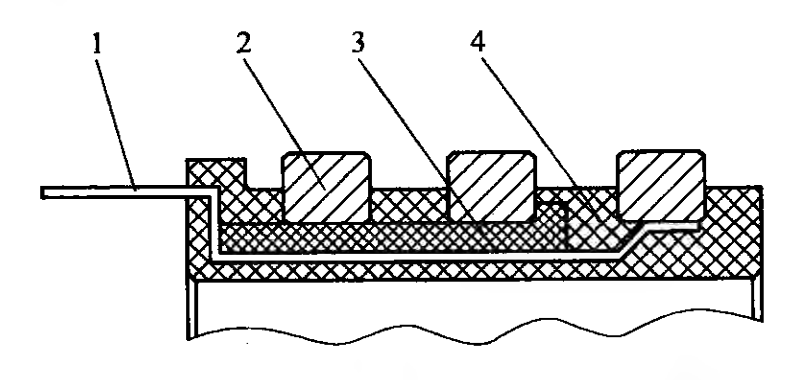


图 4-33　压塑式集电环

1—接线片　2—铜环　3—垫铁　4—压塑料

压塑式集电环是将铜环与塑料压铸在一起，形成一个整体。

套筒式集电环是由玻璃钢套与三个滑环固定在一起组成的。

（一）集电环温度过高的原因

集电环温度过高的原因主要表现在如下几个方面：

（1）电刷与集电环接触为点接触或线接触。

（2）电刷与集电环安装时错位。

（3）电刷压力过大或过小。压力过大，导致机械磨损增大；刷压过小则电气损耗过大。

（4）集电环表面有油污或杂物。

（5）电动机使用在振动较大的工况下，电刷因振动导致与集电环接触不良，并因此打火，使损耗增大，这样集电环温度也会升高。

（6）电刷牌号不对，电流密度过大。

（二）集电环松动原因与修理

压塑式集电环是将铜环、垫块、接线片用4330塑料一起压铸而成的，使用起来比较牢固和可靠，它与轴的配合松是因为轴与集电环配合公差过盈不够。尤其在正、反转起、制动工况下，塑料经运行一段时间后收缩和开裂，将与轴产生一定的间隙，再经几次拆卸便会产生松动现象。松动严重的情况下必须卸下，更换同规格的集电环或者在原集电环的内侧涂上一层XH-2快固胶同新的键一同换上。

套筒式集电环（YZR280机座号以上为此种结构）的松动主要产生在铜环与套筒之间。这是因为套筒配合过盈不够，如果不采用铜环热套工艺，松动现象将更为严重。铜环经150℃热套配合后，就不易松散，同时也避免了因层间绝缘漆老化和绝缘收缩等原因造成松动现象。出现松动的铜环要及时修理，首先从轴上拆下整个集电环，然后取下松动的铜环，清理原铜环处的铜套外表面，然后根据套筒的外径公差，重新配铜环，铜环与套筒配合公差应为H8/n4，并将铜环加热小于150℃，热套在套筒上。

（三）集电环表面损坏及修理方法

集电环经长期工作，因各种原因导致其工作面上出现斑点、条痕、凹痕、沟槽、印迹、磨伤等，若不及时处理，轻则损伤集电环，重则损坏电动机，因此，必须及时地进行修理。

（1）一般修理　集电环表面有轻微损伤，如斑点、刷痕、轻度磨损等。选用细平锉或油石在转动下研磨，注意锉刀压力不要过大且要均匀，以免磨削过多或出现新的不平整。待伤痕消除后，用00号砂纸在高速下抛光，使集电环表面粗糙度达$R_a6.3$ ~ $R_a3.2$便可恢复使用。

（2）精修　当集电环表面失圆、有沟槽、烧伤及凹凸严重，沟深度达1mm且伤面占总面积20% ~30%时，应将转子放到车床上进行精修，车削时，车刀要锋利，进刀量为0.2mm左右，表面线速度约2m/s，车削后的偏心度不超过0.03 ~0.05mm，然后用00号砂纸进行抛光，使环面粗糙度达到$R_a3.2$ ~ $R_a1.6$。

（四）集电环绝缘损坏及修理方法

起重及冶金用绕线转子电动机的集电环结构比较简单，使用起来比较可靠，很少出现集电环绝缘损坏现象，但对于使用工况比较恶劣条件的场所，这类故障却时有发生，这是因为集电环经长期使用时，塑料部位出现变脆、开裂现象，当外界煤粉，铁粉及其它导电粉尘和油污浸入时，便会造成集电环铜环与铜环之间击穿和对地击穿。尤其是引线连接处由于接触不良或者开焊，造成局部过热，都会使引接线加同绝缘一同烧断。出现上述故障时，应该仔细、谨慎地进行修复。

（1）集电环压塑表面烧伤修理方法　可先将烧伤部分用尖铲剔除干净；然后进行擦洗，擦洗时将整个集电环压塑部分均擦一遍，去掉导电粉尘。再用绝缘电阻表检查是否还有短路点，合格后可用6101号环氧树脂胶和650号固化剂混合后（各一半），涂在剔除部分，并要抹平，然后经8h干燥，浸155-1漆一次后即可使用。

（2）引线或接线片烧伤及处理　引线或接线片绝缘经常有烧伤现象，修复时须将原烧坏绝缘层清理干净，然后对其进行包绕，先包0.05mm厚的聚酰亚胺薄膜三层（半叠绕），再用0.1mm厚的无碱带半叠绕一层，涂上快干漆，漆干后即可使用。

二、刷握装置的故障与修理

刷握装置是绕线转子电动机最复杂的部件，同时也最易出现故障。其结构如图4-34所示，具体故障原因及处理方法见表4-11。

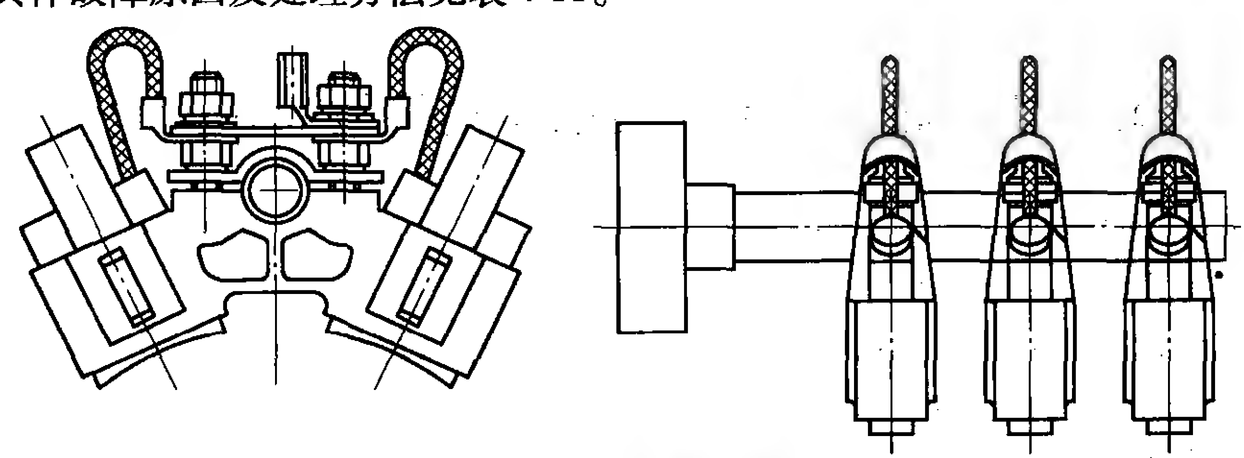


图4-34　刷握装置

表4-11　刷握装置的故障及修理方法

序号	故障现象	故障原因	处理方法
1	电刷过热	1）电刷压力太大或太小 2）电刷与集电环是线或点接触 3）电刷与集电环错位 4）各电刷压力不匀造成负载分配不匀	1）调整压力或更换弹簧 2）用粗砂纸绑在集电环外圆，进行人工磨弧，使接触面达到80% 3）调整刷握装置使各电刷与集电环对正 4）调整电刷压力，更换大小不等的电刷
2	电刷在刷盒内卡住不动	1）刷盒内粗糙度太差 2）电刷尺寸大 3）电刷灰及其它粉尘填满刷盒内 4）电刷辫太短	1）将刷盒内壁重新加工，R_a 达到6.3 2）将大的部分磨小 3）用压缩气体将灰粉清除 4）更换合格电刷

（续）

序号	故障现象	故障原因	处理方法
3	电刷压力小	1）弹簧质量不好 2）弹簧过热退火 3）电刷是否卡住不动	1）更换合格弹簧 2）更换合格弹簧 3）按本表序号2处理
4	电刷跳动运行产生火花	1）刷杆与端盖固定螺栓脱落 2）刷握与刷杆紧固螺母松脱 3）电刷压力太小 4）集电环材质不合格	1）重新拧紧螺栓 2）重新按紧螺母 3）按本表序号3处理 4）更换集电环
5	压力弹簧夹断裂	1）铆钉未铆牢 2）使用疲劳断裂 3）刷辫断开后由弹簧导电过热后退出	1）重新铆牢 2）重新更换 3）重新更换电刷和弹簧
6	刷盒松动	刷握与刷杆紧固螺母松动	重新紧固螺母

第三节　起重及冶金用电动机的检查和试验

（一）下列情况之一者应做型式试验

1）经鉴定定型后制造厂第一次试制或小批生产时；

2）当设计或工艺的变动足以引起某些性能和参数发生变化时；

3）当检查试验结果与以前型式试验结果发生不可允许的偏差时；

4）成批生产的电动机定期抽试时。

（二）型式试验项目

1）检查试验的全部项目；

2）效率、功率因数和转差率的测定；

3）短时过转矩试验；

4）超速试验；

5）最大转矩的测定；

6）转矩—转差率曲线的测定；

7）空载特性曲线的测取；

8）电动机按基准工作制时的功率进行温升试验；

9）转动惯量的测定；

10）外壳防护等级试验；

11）气隙不均匀度检查；

12）防护试验；

13）交变湿热试验；

14）笼型电动机堵转试验。

（三）每台电动机检查试验项目

（1）机械检查

1）转动检查　电动机转动时，应平稳轻快，无停滞现象；

2）外观检查　检查电动机装配是否完整正确，表面油漆应完全干燥、均匀、无污损、碰坏、裂纹等现象；

3）安装尺寸、外形尺寸及键尺寸检查；

4）轴伸、凸缘止口及凸缘端面的圆跳动，底脚支承平面的平面度、轴线对底脚支承平面的平行度及键槽对称度的检查，底脚支承平面的平面度和键槽对称度允许在零件上检查；

5）电刷与集电环应接触的良好；

6）自带制动器电动机的制动器动作检查要完好。

（2）绕组对地及绕组相互间冷态绝缘电阻的测定；

（3）绕组在实际冷却状态下直流电阻的测定；

（4）转子绕组开路电压的测定；

（5）匝间绝缘耐冲击电压试验；

（6）空载电流和损耗的测定；

（7）绕组相间和绕组对机壳的耐电压试验。当电动机只有三根引出线时，绕组相间试验允许在半成品进行；

（8）噪声的测定；

（9）振动的测定；

（10）自带制动器电动机制动力矩测定。

（四）电动机修理后的检验

电动机修理后一般分为单纯的机械方面修理的检验和更换整套绕组或绕组局部维修后的检验，所以没必要按生产厂家做整机的型式试验，除参照前述检查项进行检验外，对修理厂而言只做出厂试验即可，试验的项目和方法，判定合格标准，选择的仪器、仪表和设备，可根据具体情况确定，下面介绍电动机出厂试验项目。

1. 半成品试验

指绕组下完线，接线后浸漆前的试验

（1）绕组直流电阻检测　1000V 以上或 100kW 以上电动机，各相绕组直流电阻值相互差别不应超过其最小值的 20%，中性点引出的电动机可测量线间直流电阻，其相互差别不应超过其最小值的 1%。

100kW 以下的电动机，各线端间的电阻值与三个线端电阻的平均值之差，Y、△接小于平均值的 20% 时，按小于平均值的 1.5%（用直流电阻电桥测量）。

（2）三相电流平衡试验　三相电流平衡试验分别测 U-V、V-W、U-W 相电流，三相电流中对大值与平均值之差，不超过平均值的 ±1%，且数值与同型号电动机接近，试

验电压取被试绕组额定电压的3%～10%。

（3）耐电压试验

1）电动机的定、转子绕组、集电环等应能承受绝缘耐电压试验而不被击穿。试验时，电压施加于导体与地（零电位）之间或导体相互之间。

2）试验电压和时间　试验电压的频率为50Hz，并尽可能为正弦波形。

试验时，施加的电压应从不超过试验电压全值的一半开始，然后均匀地或以每步不超过全值的5%增加至全值。电压从半值增加至全值的时间应不小于10s，全值试验电压时间应维持1min。然后迅速地将电压降低到试验电压的50%，再切断电源。

3）散嵌定子绕组试验电压按表4-12的规定。

表4-12　散嵌线定子绕组试验电压

电机容量/kW	试验电压/V(有效值)	
	嵌线后接线前	接线后浸漆前
≤1	1500+2倍额定电压	1000+2倍额定电压
>1～1000	2000+2倍额定电压	1500+2倍额定电压

4）成型定子绕组试验电压（见表4-13）　线圈绝缘后、下线前应进行耐电压试验，其直线部位应包以锡箔或铝箔，包扎长度，对于电机额定电压在3kV及以下的线圈为铁心长加10mm，对3kV以上的线圈为铁心长加20mm。对防晕的线圈，其耐压试验应在防晕处理后进行。

表4-13　成型定子绕组试验电压

工艺类别	试验电压/V(有效值)		
	线圈	嵌线后接线前	接线后浸漆前
整浸	3000+2倍额定电压	100+2倍额定电压	1000+2倍额定电压
浸漆	4500+2.75倍额定电压	2500+2.5倍额定电压	2000+2.25倍额定电压

5）转子绕组试验电压（见表4-14）

表4-14　转子绕组试验电压

电机转向	试验电压/V(有效值)		
	导条绝缘后	嵌线后接线前	接线后浸漆前
不可逆转	$2500+2U_K$	$2000+2U_K$	$1500+2U_K$
可逆转	$2500+4U_K$	$2000+4U_K$	$1500+4U_K$

注：U_K——转子开路电压。

6）集电环试验电压（见表4-15）

表 4-15　集电环试验电压

转子开路电压 U_K/V	试验电压/V 有效值
≤500	4000
>500	5000

7）磁极绕组对地耐压试验（见表 4-16）

表 4-16　磁极绕组对地试验电压

试验阶段	试验部位	试验电压/V
磁极线圈与铁心装配后	线圈与铁心间	$2000+2U_N$　最小 2500
线圈并头及引线连接后	线圈与铁心间	$1500+2U_N$　最小 2000

注：U_N——磁极线圈额定电压。

（4）匝间绝缘试验　多匝线圈或绕组应进行匝间耐电压冲击试验，以考虑绕组匝间绝缘承受过电压冲击能力。

1）试验设备　选用专用仪器进行，该仪器为匝间耐冲击电压试验仪，该仪器面板上有示波器、调压旋钮、电压数字显示表，接线转换按键和引接线，引接线为 4 条，其中黑（或兰）线接三相中性点，即 U2、V2、W2，另三条分别接 U1、V1、W1 接好线试验一次后，再将中性点换成 U1、V1、W1，再试一次，两次试验结果，综合判定匝间及相间绝缘情况。

2）试验电压和时间

● 散嵌绕组匝间绝缘试验电压值见表 4-17、加冲击电压时间控制在 2s 左右。

表 4-17　散嵌线绕组匝间绝缘试验电压

额定电压/V	匝间绝缘试验电压/V				
	普通型产品	防爆产品	特殊船用产品	变频电机产品	起重及冶金产品
	$U_T=1.4\times1.0\times U_G$	$U_T=1.4\times1.2\times U_G$	$U_T=1.4\times1.3\times U_G$	$U_T=1.4\times1.4\times U_G$	$U_T=1.4\times1.2\times U_G$
380	2460	2950	3200	3450	2950
660	3250	3900	4200	4540	3900
1140	4590	5500	5970	6400	5500

注：1. U_T——匝间绝缘试验电压；U_G——对地工频电压试验；$U_G=2U_N+1000\text{V}$。
2. 匝间绝缘试验电压值是根据公式计算四舍五入取得的。

● 低压成型绕组匝间绝缘试验　因为低压电动机成型绕组不多，请参见 JB/T 5811—2007《交流低压电机成型绕组匝间绝缘试验方法及限值》，还可以做短时升高电压试验而不发生故障，试验是在转子静止和转子开路情况下进行，试验电压为额定电压的 130%，历时 3min，试验时允许提高频率。

3）结果判定　匝间绝缘的好坏是通过示波器所显示的波形来决定的，示波器每次显示的曲线都是两条各显示一相的绝缘情况，两者相互比较。常见故障按曲线形状判定。

①两条曲线完全重合时，说明加电压的两相匝数相等且无匝间短路；

②当曲线不重合且有不规则的跳动（出现杂乱的波形）说明有匝间短路现象，并短路点在打火放电，此时可能听到放电声或看见打火，如果没看见具体位置，有必要通过提高电压的方法增强放电声；

③当两条曲线不重合，但不跳动，则是两相匝数不等或有匝间短路；当两条曲线错开很多时，则可能是有一相头尾接错的线圈；

④当一条曲线正常，另一条线为一条直线下滑的曲线时，说明有一相对机壳短路；

⑤当一条线正常，另一条线为一条直线时，说明一相开路。

以上④、⑤所述情况可能因所选用的仪器不同有所不同。

2. 成品电动机出厂试验

（1）主要设备

- 三相感应调压器。容量根据修理厂能力选三相感应调压器；
- 变频器。容量根据修理厂能力选，具有矢量控制功能。

（2）主要仪器

- ZNY-1 闪络击穿试验装置；
- MODELHS-5660A 声级计；
- HG-2504 振动仪；
- QJ44 双臂电桥。

所有电气测量仪器、仪表必须有指定单位检定合格证书并在规定的使用有效期内，仪器仪表精度符合规定要求。以上仪器的型号是建议的，也可选功能相似的仪器。

（3）试验项目

- 绝缘电阻的测定；
- 绕组在初始（冷）状态下直流电阻的测定；
- 耐电压试验；
- 堵转试验；
- 空载试验；
- 振动的测定；
- 噪声的测定。

（4）绝缘电阻的测定

1）目的　测量定子绕组冷态下绝缘电阻是否符合技术条件规定；若冷态绝缘电阻过低，应查明原因，采取措施。主要是排除绕组接地或相间短路，为正常试验做准备。

2）测量方法　用绝缘电阻表（兆欧表）测量绕组对机壳及相与相之间的绝缘电阻。按电动机额定电压选兆欧表电压等级。

①绕组对机壳的绝缘电阻。将三相绕组的三个尾端（W2、U2、V2）用裸铜线连在

一起。兆欧表 L 端子接任一绕组头端；E 端子接电机外壳。以约 120r/min 的转速摇动兆欧表的摇把达 1min 左右后，读取兆欧表的读数。

②绕组相与相之间的绝缘电阻。将三相尾端连线拆除。

兆欧表两端分别接 U1 和 V1、U1 和 W1、W1 和 V1，按①中所述办法测量各相间的绝缘电阻。

③绕线转子绕组的绝缘电阻。绕线转子的三相绕组一般均在电机内部封成Y形。所以只须测量各相对机壳的绝缘电阻。但应注意：对于大型电机，有的为了阻断轴电流而将轴承与机座进行绝缘。此时，则应测量绕组与轴之间的绝缘电阻。

测量时，应将电刷等全部装到位，兆欧表 L 端应接在转子引出线端或刷架上，E 端接电机外壳或转子轴，其余同①。

以上测试均在电动机冷态下进行，绝缘电阻应不小于 5MΩ（指低压电机），测量时未参与的绕组应与电动机外壳用导线连在一起。

测量完后，应用接地导线接触绕组进行放电，然后再拆下仪表连线，否则在用手拆线时可能遭电击，对大型或高压电机尤为重要。

（5）绕组在初始（冷）状态下的直流电阻测定

1）目的　电机绕组在实际冷状态下的直流电阻是电机主要参数之一，通过对直流电阻的分析，可以初步判定被试电机绕组的匝数、线径、并绕根数、接线方式及接线质量是否达到设计要求。

2）测量方法

● 电机静止放置在试验平台上一段时间，用温度计（或埋置检温度）测得的绕组端部温度或电机表面温度与环境温度之差不超 2K。

● 测量时，电动机的转子静止不动。定子绕组端电阻应在电机的出线端上测量。

当三相绕组的头尾共 6 条线都引出时，可分别测量每一相的直流电阻，即 R_U、R_V、R_W。

若已连成Y或△形，只引出 3 个线端时，则应测量 3 个线端电阻（或称为“线电阻”）R_{UV}、R_{VW}和 R_{WU}。当需要相电阻时，要进行换算。3 个线电阻实测值的平均值为 R_L，相电阻平均值为 R_ϕ。

$$R_L=(R_{UV}+R_{VW}+R_{WU})/3$$

三相绕组Y接时，$R_\phi=0.5R_L$

三相绕组△接时，$R_\phi=1.5R_L$

● 采用双臂电桥或单臂电桥分别测量定子绕组三相电阻值，每一电阻测量三次，每次读数与三次读数的平均值之差应在平均值的 ±0.5% 范围内，取其算术平均值作为电阻的实际值，并计算出三相电阻不平衡度。用 ΔR（%）表示，应在 ±3% 以内。

$$\Delta R(\%)=[(R_{max}\text{或}R_{min}-R_\phi)/R_\phi]$$

R_{max}、R_{min}分别为实测三相阻值中最大和最小值。

（6）耐电压试验

1）目的　考核定子绕组对地绝缘介电强度。

2）测量方法

●将电动机放在有良好接地的铁质平台上，将耐电压试验器高压一端接到定子绕组上，另一端接到机壳上，试验时施加的电压应从不超过试验全值的一半开始，升高电压到试验电压全值不少于10s，耐电压时间1min并自动关断，如果绕组击穿将自动报警。

●定子绕组试验电压值按标准规定为1000 + $2U_N$，转子绕组为1000 + $4U_2$（U_2 为转子开路电压）。

（7）堵转试验（不包括变频调速电动机，因为可省略，必要时再做）

1）目的　可检查绕组接线是否正确，而最重要的是可检查出转子的缺陷，如断笼等故障。测试出堵转特性曲线时，可从中得到起动转矩及起动电流与输入电压的关系，查出额定电压或其他电压时的起动转矩或起动电流值，这些数据是考核电机起动性能的重要指标，也是使用时所需要的重要参数。

绕线转子电动机只测转子开路电压，可以发现定、转子匝数是否正确。

2）测量方法

●堵转试验在电动机接近实际冷态下进行；

●先通电试电动机的转向，然后切断电源，用足够强度的铁棒或木棒一端绑在电动机的轴伸上，另一端放在台秤面上有支点的架上，两支点之间的距离最好选1m长，这时读出的堵转转矩数值不用换算了（棒尽量细、重量轻）。

●给电动机通入三相电压，第一点尽可能达到额定值，然后逐渐降低电压至电流达到额定值为止，共测取5~7点，每点都应读取三相电压、三相电流、短路输入功率和力矩（如电动机三相平衡，可读取一相数据）每测量一点不超过10s。

●测绕线转子电动机转子开路电压时，为防止电动机转动，所以电动机轴应用制动棒堵住，测点应在集电环表面和碳刷接线螺栓处，分别测三相开路电压，绕线转子电动机转子一船均为Y接。

●如果电压达不到额定值（或有困难）可绘制堵转特性曲线，将曲线延至额定电压点，然后查出额定电压时的，堵转电流和堵转转矩，在一张直角坐标纸上，选好比例，以电压为横坐标，电流和转矩为纵坐标，标出各点的坐标，然后用曲线板将所标的点连成一条光滑的曲线，若个别点偏离较大可甩掉。

3）堵转电流、堵转转矩、绕线转子开路电压限值及容差

●笼型电动机见表4-18、表4-19、表4-20。

电动机在额定电压、额定频率和基准工作制时，最大转矩与堵转转矩对额定转矩之比的保证值应不低于表4-18的规定。其数值修约间隔为0.1。

表4-18　最大转矩倍数和堵转转矩倍数保证值

额定功率/kW	$\frac{最大转矩}{额定转矩}$	$\frac{堵转转矩}{额定转矩}$
≤5.5	2.0	2.0
>5.5~11	2.3	2.3
≥11	2.5	2.5

电动机在额定电压、额定频率、基准工作制时，堵转电流的保证值应不大于表4-19的规定，其数值修约间隔为1。

表4-19　堵转电流保证值

机座号	同步转速 r/min					
	1500		1000		750	
	功率/kW	堵转电流/A	功率/A	堵转电流/A	功率/kW	堵转电流/A
112M	2.2	32	1.5	20	—	—
132M1	3.7	53	2.2	27		
132M2	5.5	78	3.7	42		
160M1	7.5	106	5.5			
160M2	11	156	7.5	98		
160L	15	213	11	140	7.5	98
180L	—	—	15	190	11	130
200L			22	280	15	182
225M			30	390	22	275
250M			37	483	30	350

电动机电气性能保证值的容差应符合表4-20的规定。

表4-20　电气性能保证值容差

名　称	堵转转矩	最大转矩	堵转电流
容差	保证值的 -15%	保证值的 -10%	保证值的 +15%

● 双速电动机见表4-21及表4-22。

电动机在额定电压、额定频率和基准工作制时，最大转矩与堵转转矩对额定转矩之比的保证值应不低于表4-21的规定。其数值修约间隔0.1。

表4-21　最大转矩倍数和堵转达转矩倍数保证值

转　速	$\frac{\text{最大转矩}}{\text{额定转矩}}$	$\frac{\text{堵转转矩}}{\text{额定转矩}}$
高速	2.2	1.8
低速	1.8	1.8

电动机在额定电压、额定频率下，基准工作制时，堵转电流的保证值应不大于表4-22的规定，其数值修约间隔为1。

● 绕线电动机转子开路电压及容差

YZR系列电动机开路电压容差：112～250机座号为±7%，280～400机座号为±10%，限值见表4-23。

YZR3系列电动机开路电压为±5%，限值见表4-24。

表 4-22 堵转电流保证值

机座号	同步转速 r/min					
	1500/375	1000/375	750/300	1500/375	1000/375	750/300
	功率/kW			堵转电流/A		
112M	0.75/0.2	0.75/0.2		16/4	18/5	
132 M1	1.5/0.4	1.5/0.4		20/6	25/7	
132 M2	2.2/0.55	2.2/0.55		40/12	54/15	
160 M1	3.7/1.0	3.7/1.0	—	56/13	60/15	—
160 M2	5.5/1.5	5.5/1.5		74/18	90/18	
160 L	7.5/2.0	7.5/2.0		105/25	122/30	
180L	11/3.0	11/3.0		140/40	178/40	
200L			11/3.7			160/15
225M	—	—	15/4.5	—	—	220/58
250M			22/6.3			300/80
250L			30/10			350/100

表 4-23 YZR 系列电机开路电压

机座号	同步转速/(r/min)								
	1000			750			600		
	额定功率/kW	转子转动惯量/(kg·m²)	转子绕组开路电压/V	额定功率/kW	转子转动惯量/(kg·m²)	转子绕组开路电压/V	额定功率/kW	转子转动惯量/(kg·m²)	转子绕组开路电压/V
112M	1.5	0.03	100	—	—	—	—	—	—
132M1	2.2	0.06	132	—	—	—	—	—	—
132M2	3.7	0.07	185	—	—	—	—	—	—
160M1	5.5	0.12	138	—	—	—	—	—	—
160M2	7.5	0.15	185	—	—	—	—	—	—
160L	11	0.20	250	7.5	0.20	250	—	—	—
180L	15	0.39	218	11	0.39	172	—	—	—
200L	22	0.67	200	15	0.67	178	—	—	—
225M	30	0.84	250	22	0.82	232	—	—	—
250M1	37	1.52	250	30	1.52	272	—	—	—
250M2	45	1.78	290	37	1.79	335	—	—	—
280S	55	2.35	280	45	2.35	305	37	3.58	150
280M	75	2.86	370	55	2.86	360	45	3.98	172
315S	—	—	—	75	7.22	302	55	7.22	242
315M	—	—	—	90	8.68	372	75	8.68	325
355M	—	—	—	—	—	—	90	14.32	330
355L1	—	—	—	—	—	—	110	17.08	388
355L2	—	—	—	—	—	—	132	19.18	475
400L1	—	—	—	—	—	—	160	24.52	395
400L2	—	—	—	—	—	—	200	28.10	460

注：M、L 后面的数字 1、2 分别代表同一机座号和转速下不同的功率。

表 4-24　YZR3 系列电机转子开路电压

机座号	同步转速																							
	1500r/min						1000r/min						750r/min						600r/min					
	功率/kW				U_2	$Jm/$	功率/kW				U_2	$Jm/$	功率/kW				U_2	$Jm/$	功率/kW				U_2	$Jm/$
	25%	40%	60%	100%	/V	$(kg \cdot m^2)$	25%	40%	60%	100%	/V	$(kg \cdot m^2)$	25%	40%	60%	100%	/V	$(kg \cdot m^2)$	25%	40%	60%	100%	/V	$(kg \cdot m^2)$
100L	2.5	2.2	1.9	1.6	85	0.014	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
112M1	3.3	3.0	2.6	2.0	110	0.025	1.7	1.5	1.3	1.1	100	0.025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
112M2	4.0	3.7	3.2	2.5	145	0.029	2.5	2.2	1.9	1.6	132	0.029	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
132M1	6.3	5.5	4.8	4.0	140	0.042	3.3	3.0	2.6	2.2	110	0.047	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
132M2	7.0	6.3	5.3	4.8	170	0.044	4.0	3.7	3.2	2.5	185	0.053	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160M1	8.5	7.5	6.3	5.0	180	0.085	6.3	5.5	4.8	4.0	138	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160M2	13	11	9.5	8.8	180	0.11	8.5	7.5	6.3	5.5	185	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160L	17	15	13	11	260	0.13	13	11	9.5	8.0	250	0.20	8.5	7.5	6.3	5.5	205	0.20	—	—	—	—	—	—
180L	25	22	19	16	270	0.25	17	15	13	11	218	0.34	13	11	9.5	8.0	172	0.34	—	—	—	—	—	—
200L	35	30	26	22	270	0.41	25	22	19	16	200	0.63	17	15	13	11	178	0.63	—	—	—	—	—	—
225M	42	37	32	27	325	0.49	35	30	25	22	250	0.77	26	22	19	16	232	0.77	—	—	—	—	—	—
250M1	52	45	39	33	185	0.81	42	37	32	27	250	1.20	36	30	26	22	272	1.18	—	—	—	—	—	—
250M2	63	55	47	40	230	1.03	52	45	39	33	290	1.46	42	37	32	27	335	1.44	—	—	—	—	—	—
280S1	70	63	53	46	230	1.62	63	55	47	40	280	1.78	52	45	39	33	320	2.13	42	37	32	27	150	2.94
280S2	85	75	63	55	240	1.76	70	63	43	46	300	2.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
280M	100	90	75	65	310	1.91	85	75	63	55	310	2.55	63	55	47	40	340	2.52	52	45	39	33	170	3.5
315S1	125	110	92	80	290	4.00	100	90	75	65	255	5.40	70	63	53	46	250	5.40	63	55	47	40	225	6.70
315S2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	85	75	63	55	285	5.80	70	63	53	46	242	7.50
315M	150	132	110	95	375	4.90	125	110	92	80	305	6.40	100	90	75	65	330	6.40	85	75	63	55	280	8.30
355M	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	125	110	92	80	285	13.0	100	90	75	65	330	14.3
355L1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	132	110	95	325	14.4	125	110	92	80	388	16.0
355L2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	185	160	132	115	380	16.0	150	132	110	95	450	15.6
400L1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	230	200	170	145	390	24.5	185	160	132	115	395	24.1
400L2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	250	210	180	480	28.0	230	200	170	145	460	28.3

注：S、M、L 后面的数 1、2 分别代表同一机座号和转速下不同的功率。

(8) 空载试验

1) 目的　空载试验是在额定电压，额定频率下，不带任何附加负载进行旋转，测空载电流及空载损耗，判别空载电流及空载损耗与型式试验结果相比较是否在允许范围之内，检查铁心质量是否良好，定转子铁心是否对齐和气隙是否正确，通过三相平衡情况可以反映定转子绕组匝数及接线等参数是否正确。

在进行空载试验的同时，还可以进行电动机振动和噪声的测定。

2) 测量方法　在空载试验时，在电动机接线端子上加额定频率的三相对称电压，使电动机运转0.5h左右，使轴承等部件的运转达到稳定状态，在三相电流平衡符合规定后，再测量空载电流及空载损耗。用转速表测转速。

当三相电源平衡时，电动机三相空载电流中的任意一相与三相平均值偏差应不大于平均值的10%。

3) 结果判定　对于电机修理行业，不太可能知道原来电动机型式试验的有关数据，何况在产品标准中未将空载电流列入限定值，下面将提供有关产品的实际空载电流与额定电流的比值范围以供参考，以便修理后进行判别。

● YZR系列电动机空载电流水平见表4-25。

表4-25　YZR系列电动机空载电流

机座号	6极		8极		10极		备注
	功率/kW	I_0/I_N(%)	功率/kW	I_0/I_N(%)	功率/kW	I_0/I_N(%)	
112~132	1.5~3.7	65.5~69.5					I_0—空载电流 I_N—额定电流
160~225	5.5~30	55~59					
250~280	37~75	33~37.5					
250~315			30~90	47~54			
400~450			235~450	40~46			
280~400					37~200	49~55	
450					250及450	48.5及64.5	

注：1. 上表中的功率为S3-40%时的功率。

2. 一般情况下的空载电流比，功率小者选大值。

● YZP系列电动机空载电流见表4-26。

表4-26　YZP系列电动机空载电流

机座号	4极		6极		8极		10极	
	功率/kW	I_0/I_H(%)	功率/kW	I_0/I_H(%)	功率/kW	I_0/I_H(%)	功率/kW	I_0/I_H(%)
112	2.2、3、4	49、59、62						
132	5.5	37.5						
160~180	7.5~22	47~44						
200	30	38.4						
225	37	48.7						

（续）

机座号	4极		6极		8极		10极	
	功率/kW	I_0/I_H(%)	功率/kW	I_0/I_H(%)	功率/kW	I_0/I_H(%)	功率/kW	I_0/I_H(%)
250~280	45~132	25.3~22						
112			2.2	67.5				
132			3、4	60.5、57.7				
160			5.5、7.5、11	54.3、40.6、61.3				
180			15	67.3				
200			18.5、22	34、51				
225			30	45				
250			37、45	32、33.4				
280			55、63、75	37、35、30				
315			90、110	26				
160					7.5	66.5		
200					15	52		
225					22	58.4		
250					30、37	55、64		
280					45、55	50		
315					63、75、90	48、33、40		
355					110、132、160	48、42、38		
400					200、250	41、48		
280~315							37~75	45.5~52
355							90、110、132	46、39、45
400~450							160~350	47.5~50

●单绕组双速电动机的空载电流与额定流之比的百分数很高，可达80%多，甚至小功率多极时空载电流比额定电流略高，这不影响使用，带上负载后，功率因数提高了，空载电流降低，所以仍然能做功。

●在结构上派生的系列产品，电磁设计没动，仍可参照基本系列数据，比如YZRE与YZR性能数据相同，“E”是指带制动器，如YZRW也一样，YZD、YBZS、YBZSE性能参数相同，电磁设计相同。

（9）带制动器电动机的制动力矩测量

1）目的　起重冶金用电动机选配的制动器一般为德国伦茨公司的断电制动的制动

器，在测制动力矩之前，制动器先通电、断电试一下，能听到吸合机械声，如果发出两个相隔时间很短的咔咔声，这说明动静摩擦片装配的不平行，调整合格后再测制动力矩。

2）测量方法　采用弹簧秤秤杆法。选一个内径与轴直径相符的套，套内轴向带键槽的长度为轴伸长的2/3 即可，套的外圆上焊一个与套垂直的杆，杆的另一端带孔，能挂上弹簧秤即可，杆长 $L=0.5$m 或更长，杆长拉动时省力。

轴伸上带键后将套筒套在轴上，让杆与电机底脚平面垂直，上端挂好弹簧秤，按顺时针或反时针拉着弹簧秤让电机轴转动，在转动瞬间，记下弹簧秤的读数，F(N) 则制动力矩 M（N·m）为

$$M = FL$$

3）判定标准　起重冶金用电动机选配制动力矩的原则：

运行机构（平移机械）为电动机额定力矩 1.5 倍左右

起升机构为电动机额定力矩的 2 倍左右。

电动机的额定力矩

$$M_N = 9550\frac{P}{n_N}$$

式中　P——电动机额定功率；

n_N——电动机额定转速（在电机铭牌中均能查到）。

（10）振动和噪声的测试　电动机的振动和噪声在很大程度上是相互关联的，做为修理后的检查试验均采用刚性安装，基础应坚硬、平整。

1）振动测试

● 电动机状态。在额定电压、额定频率时，电动机空载运行，电机轴伸必须加半键，稳定后进行测量；

● 振动测量点。测量点数为 6 点，在电动机两端按轴向、垂直方向和水平方向各测 1 点，其中垂直方向和水平径向的测点位置的延长线尽可能通过轴承支撑点的中心。

● 变频调速电动机除了有机械振动外，还有电磁振动，所以测试时，电源用变频器、控制系统的元件必须装好，如编码器、超速开关等；

● 振动强度限值见表 4-27。

表 4-27　不同轴中心高 H（mm）用位移、速度和加速度表示的振动强度限值（方均根值）

振动等级	轴中心高/mm	56≤H≤132			132<H≤280			H>280		
	安装方式	位移/μm	速度/(mm/s)	加速度/(m/s²)	位移/μm	速度/(mm/s)	加速度/(m/s²)	位移/μm	速度/(mm/s)	加速度/(m/s²)
A	自由悬置	25	1.6	2.5	35	2.2	3.5	45	2.8	4.4
	刚性安装	21	1.3	2.0	29	1.8	2.8	37	2.3	3.6

（续）

振动等级	轴中心高/mm	$56 \leqslant H \leqslant 132$			$132 < H \leqslant 280$			$H > 280$		
	安装方式	位移/μm	速度/(mm/s)	加速度/(m/s^2)	位移/μm	速度/(mm/s)	加速度/(m/s^2)	位移/μm	速度/(mm/s)	加速度/(m/s^2)
B	自由悬置	11	0.7	1.1	18	1.1	1.7	29	1.8	2.8
	刚性安装	—	—	—	14	0.9	1.4	24	1.5	2.4

注：1. 等级“A”适用于对振动无特殊要求的电机。

2. 等级“B”适用于对振动有特殊要求的电机。轴中心高小于132mm的电机，不考虑刚性安装。

3. 位移与速度，速度与加速度的接口频率分别为10Hz和250Hz。

4. 制造厂和用户应考虑到检测仪器可能有±10的测量容差。

5. 以相同机座带底脚卧式电机的轴中心高作为机座无底脚电机、底脚朝上安装式电机或立式电机的轴中心高。做为检查试验只测振动速度即可，型式试验时，位移、速度、加速度均测。

2）　噪声测试

●电动机状态。额定电压、额定频率时，电动机空载运行，电动机放置在坚固平坦的基础上。

●测试环境。最好空旷的室外，如在厂房内，以电机为圆心，半径为4m内，无其它反射声音的物体。

●测量方法。采用半球法测量，以电机底脚平面为半球中心，电机前、后、左、右、上方各测1点，前、后、左、右测点，测量仪器测试探头与电机中心高等高，上方一点与电机顶面垂直，各点与电机外表面均为1m。

●变频调速电动机的状态应与测试振动时的状态相同。

●噪声限值见表4-28。

表4-28　空载最大A计权声功率级值 L_{WA}（dB）

（IC411、IC511、IC611单速三相笼型异步电动机）

中心高 H/mm	$2p$	$4p$	$6p$	$8p$
90	78	66	63	63
100	82	70	64	64
112	83	72	70	70
132	85	75	73	71
160	87	77	73	72
180	88	80	77	96
200	90	83	80	79
225	92	84	80	79
250	92	85	82	80
280	94	88	85	82
315	98	94	89	88
355	100	95	94	92

（续）

中心高 H/mm	$2p$	$4p$	$6p$	$8p$
400	100	96	95	94
450	100	98	98	96
500	103	99	98	97
560	105	100	99	98

注:1. 冷却方式为 IC01,IC11,IC21 的电机声功率级将提高:2p 和 4p: +7dB(A);6p 和 8p: +4dB(A)。

2. 中心高 315mm 以上的 2、4 极电机,声功率级值指风扇结构为单向旋转的。其他值为双向旋转结构。

3. 60Hz 电机的声功率级值增加:2p: +5dB(A);4p、6p 和 8p: +3dB(A)。

● 变频调速电动机噪声限值。按表 4-28 的数值,再加增加量,见表 4-29。

在电压和频率基波值相同条件下,由变频器供电与正弦波供电相比较,噪声增量见表 4-29。

表 4-29 变频器供电电动机噪声限值增加量

变频器类型	状　况	噪声增加量
方波型电源变频器	6 脉冲或 12 脉冲	1dB(A) ~5dB(A)较高值对应于通风噪声低的电机。增量与负载有关。
A 类电压源型变频器	高幅值谐波激发电动机谐振	高达 15dB(A)增量与负载无关。应用适当的软件可以初步计算
	高幅值谐波不激发电动机谐值	1dB(A) ~5dB(A)增量与负载无关
B 类电压源型变频器	宽的电压频谱无尖峰值	5dB(A) ~10dB(A)增量与负载无关

3. YZRW 系列所配涡流制动器时，额定力矩及机械特性曲线测试方法

涡流制动器额定制动力矩应进行实测，测试条件不具备时，也可按下述进行计算。

（1）测试线路（见图 4-35）

（2）测试原理　涡流制动电动机的输出转矩即为涡流制动器的制动力矩，其经验计算公式为

$$M = 9550\frac{P_1 - P_{Cu} - P_{Fe} - P_{fW}}{n_N}$$

式中　P_1——涡流制动电动机定子输入功率（kW）；

P_{Cu}——涡流制动电动机定子铜损（kW）；

P_{Fe}——涡流制动电动机定子铁损（kW）；

P_{fW}——风摩损耗（kW）；

M——制动力矩（N·m）；

n_N——涡流制动电动机的额定转速（r/min）。

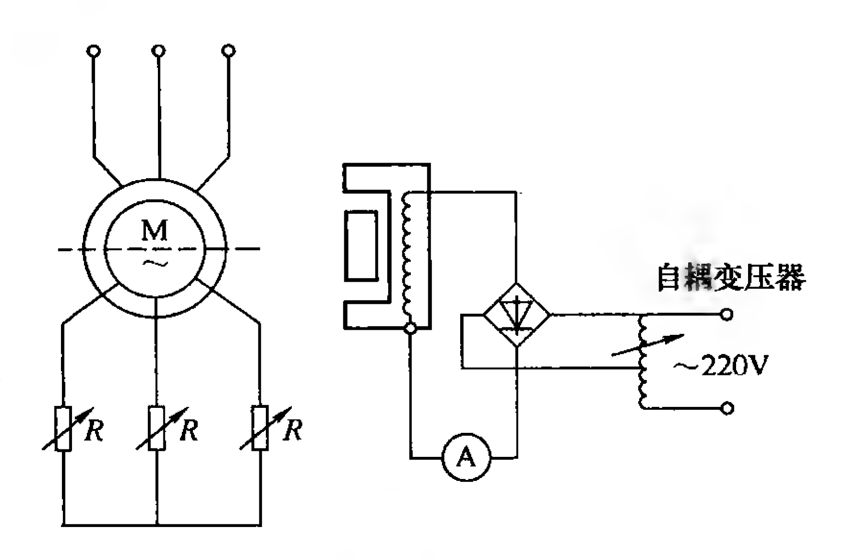


图 4-35　YZRW 系列电动机配涡流制动器额定力矩及机械特性曲线测试线路

（3）测试方法

● 测出涡流制动电动机的定子相电阻 r_1；

● 测出涡流制动电动机铁损耗与风摩损耗，并作为常数处理；

● 起动涡流制动电动机，给涡流制动器加上不同的励磁电流，通过切换串接在涡流制动电动机转子内的外接电阻 R 来逐步改变涡流制动电动机的转速 n，测出与涡流制动电动机转子转速相对应的输入功率 P_1，定子电流 I_1，计算出定子铜损耗 $P_{Cu}=3I_1^2r_1$，代入公式计算 M。

（4）绘出曲线：

以涡流制动电动机转速 n 为横座标，其涡流制动力矩 M 为纵座标，即可绘出涡流制动器的机械特性曲线，其中包括额定制动力矩点和限定制动力矩点。并按图 4-36 所示测取六条特性曲级。

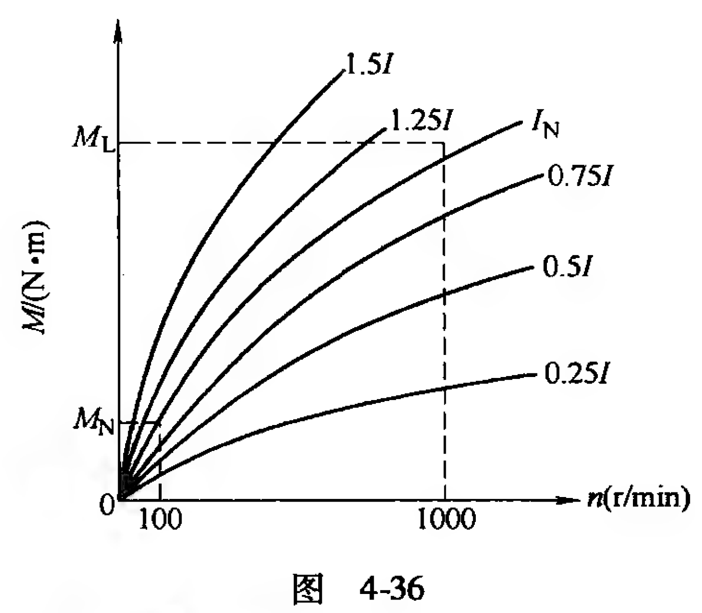


图　4-36

I_N—额定励磁电流（A）　M_L—限定制动力矩（N·m）

M_N—额定制动力矩（N·m）

第五章　主要原材料与常用标准

第一节　常用的主要原材料

一、铜圆线（见表5-1）

表5-1　铜　圆　线

<table>
<tr><th>标准号</th><th>名　称</th><th>型　号</th><th>规　格</th><th>标注方法</th><th>备　注</th></tr>
<tr><td>GB/T 3953—2009</td><td>电工圆铜线</td><td>TR</td><td>标称直径：
1.12，1.22，1.31，1.41，1.50，1.56，1.60</td><td>φ1.25 圆铜线 TR</td><td></td></tr>
<tr><td>GB/T 6109.2—2008</td><td>漆包圆绕组线第 2 部分：155 级聚酯漆包铜圆线</td><td>QZ（G）-2/155
QZ（G）-3/155</td><td rowspan="4">直径优选规格：
0.40，0.45，0.56，0.63，0.71，0.80，0.90，1.00，1.12，1.25，1.40，1.60
直径保留规格：
0.53，0.60，0.67，0.75，0.85，0.95，1.06，1.18，1.30，1.35，1.50</td><td>φ1.12 铜圆线 QZ（G）-2/155</td><td>F 级厚漆膜</td></tr>
<tr><td>GB/T 6109.5—2008</td><td>漆包圆绕组线第 5 部分：180 级聚酯亚胺漆包铜圆线</td><td>QZY-2/180
QZY-3/180</td><td>φ1.12 铜圆线 QZY-2/180</td><td>H 级厚漆膜</td></tr>
<tr><td>GB/T 6109.6—2008</td><td>漆包圆绕组线第 6 部分：220 级聚酰亚胺漆包铜圆线</td><td>QY-2/200
QY-3/220</td><td>φ1.12 铜圆线 QY-2/220</td><td>C 级厚漆膜</td></tr>
<tr><td>Q/JS91.1—2006</td><td>变频电机用抗电晕漆包铜圆线</td><td>QP-2/220
QP-3/200</td><td>φ1.12 铜圆线 QP-2/200</td><td></td></tr>
</table>

二、铜扁线（见表5-2）

表5-2　铜　扁　线

标准号	名　称	型　号	规　格	标注方法	备　注
GB/T 7672.6—2008	玻璃丝包绕组线第6部分：玻璃丝包薄膜绕包铜扁线	SBEMB-40(70)/155 SBEMB-40(70)/180 SBMFEB-50(70)/155	规格见表6-3、表6-4、表6-5	2.24×7.1铜扁线 SBEMB-50/155	击穿电压：0.4mm厚为2500V，0.5mm厚为4500V，0.6mm厚为5500V
GB/T 5584.2—2009	电工用铜、铝及其合金扁线第2部分：铜扁线	TBR	窄边a×宽边b：2.12×13.5，2.24×16，2.8×12.5，3.15×16，3.55×16，4×16，4.5×16，5.6×16，6.3×16，7.1×16	2.8×12.5铜扁线TBR	规格按GB/T 5584.1
GB/T 5584.4—2009	电工用铜、铝及其合金扁线第4部分铜带	TDR TDY1	窄边a×宽边b：1.8×16，1.6×14，2.24×18，2.24×20，2.24×35.5，2.5×25，2.8×31.5，3×31.5，3.55×40	1.8×16铜带TDR	规格按GB/T 5584.1
JB/T 9612.2—1999	电工用异形铜铝及铜合金排第3部分：梯形排	TPT	梯形排高度H值：14，16，18，20，22.4，25，28，31.5，35.5，40，50，63，71，80，85，90，95	T/H/α° 8/18/2°梯形铜排TPT	T—截面尺寸、α°—梯形排两侧面之间的夹角
	铜排荒料		厚×宽：40×100，40×112，40×125，45×100，45×125，45×140，50×110，50×125，55×115	40×100铜排荒料	性能指标参照GB/T 5585.1

表 5-3　铜扁线限用表（绝缘厚度 0.4mm）　　(mm)

宽边标称尺寸 b	窄边标称尺寸 a																												
	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55	3.75	4.00
mm	圆角半径 $r=(1/2)$ 窄边标称尺寸					圆角半径 $r=0.5$mm								圆角半径 $r=0.65$mm						圆角半径 $r=0.8$mm								圆角半径 $r=1.0$mm	
2.80	2.103		2.346		2.585		2.921		3.285		3.705		4.265		4.677		5.237												
3.00		—		—		—		—		—		—		—		—		—											
3.15	2.383		2.661		(2.935)		3.313		3.723		4.195		4.825		5.307		5.937		6.693										
3.35		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—									
3.55	2.703		3.021		3.335		3.761		4.223		4.775		5.465		6.027		6.737		7.589		8.326								
3.75		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—							
4.00	3.063		3.426		3.785		4.265		4.785		5.385		6.185		6.837		7.637		8.597		9.451		10.65						
4.25		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—					
4.50	3.463		3.876		4.285		4.825		5.410		6.085		6.985		7.737		8.637		9.717		10.70		12.05		13.63				
4.75		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—			
5.00	3.863		4.326		4.785		5.385		6.035		6.785		7.785		8.637		9.637		10.84		11.35		13.45		15.20		17.20		
5.30		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
5.60	4.343		4.866		5.385		6.057		6.785		7.625		8.745		9.717		10.84		12.18		13.45		15.13		17.09		19.33		21.54
6.00		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
6.30	4.903		5.496		6.085		6.841		7.660		8.605		9.865		10.98		12.24		13.75		15.20		17.09		19.30		21.82		(24.3)
6.70		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
7.10			6.216		6.885		7.737		8.660		9.725		11.15		12.42		13.84		15.54		17.20		19.33		21.82		24.66		(27.54)
7.50				—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
8.00					7.785		8.745		9.785		10.99		12.59		14.04		15.64		17.56		19.45		21.85		(24.65)		(27.85)		(31.14)
8.50						—		—				—		—		—		—		—		—		—		—		—	
9.00							9.365		11.04		12.39		14.19		15.84		17.64		19.80		21.95		(24.65)		(27.80)		(31.40)		(35.14)

注：（ ）内尺寸为不推荐规格。

表 5-4 铜扁线限用表（绝缘厚度 0.5mm） （mm）

宽边标称尺寸 b \ 窄边标称尺寸 a（mm）	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55	3.75	4.00
	圆角半径 r=(1/2)窄边标称尺寸					圆角半径 r=0.5mm								圆角半径 r=0.65mm						圆角半径 r=0.8mm								圆角半径 r=1.0mm	
2.80	2.103		2.346		2.585		2.921		3.285		3.705		4.265		4.677		5.237												
3.00		—		—		—		—		—		—		—		—		—											
3.15	2.383		2.661		(2.935)		3.313		3.723		4.195		4.825		5.307		5.937		6.693										
3.35		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—									
3.55	2.703		3.021		3.335		3.761		4.223		4.775		5.465		6.027		6.737		7.589		(8.326)								
3.75		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—							
4.00	3.063		3.426		3.785		4.265		4.785		5.385		6.185		6.837		7.637		8.597		9.451		10.65						
4.25		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—					
4.50	3.463		3.876		4.285		4.825		5.410		6.085		6.985		7.737		8.637		9.717		10.70		12.05		(13.63)				
4.75		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—			
5.00	3.863		4.326		4.785		5.385		6.035		6.785		7.785		8.637		9.637		10.84		11.35		13.45		15.20		(17.20)		
5.30		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
5.60	4.343		4.866		5.385		6.057		6.785		7.625		8.745		9.717		10.84		12.18		13.45		15.13		17.09		19.33		21.54
6.00		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
6.30	4.903		5.496		6.085		6.841		7.660		8.605		9.865		10.98		12.24		13.75		15.20		17.09		19.30		21.82		(24.3)
6.70		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
7.10			6.216		6.885		7.737		8.660		9.725		11.15		12.42		13.84		15.54		17.20		19.33		21.82		24.66		(27.54)
7.50				—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
8.00					7.785		8.745		9.785		10.99		12.59		14.04		15.64		17.56		19.45		21.85		(24.65)		(27.85)		(31.14)
8.50						—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
9.00							9.365		11.04		12.39		14.19		15.84		17.64		19.80		21.95		(24.65)		(27.80)		(31.40)		(35.14)

注：（ ）内尺寸为不推荐规格。

表 5-5 铜扁线限用表（绝缘厚度 0.7mm）

（mm）

宽边标称尺寸 b	窄边标称尺寸 a																												
	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55	3.75	4.00
mm	圆角半径 $r=(1/2)$ 窄边标称尺寸					圆角半径 $r=0.5$mm								圆角半径 $r=0.65$mm						圆角半径 $r=0.8$mm								圆角半径 $r=1.0$mm	
2.80	2.103		2.346		2.585		2.921		3.285		3.705		4.265		4.677		5.237												
3.00		—		—		—		—		—		—		—		—		—											
3.15	2.383		2.661		(2.935)		3.313		3.723		4.195		4.825		5.307		5.937		6.693										
3.35		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—									
3.55	2.703		3.021		3.335		3.761		4.223		4.775		5.465		6.027		6.737		7.589		(8.326)								
3.75		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—							
4.00	3.063		3.426		3.785		4.265		4.785		5.385		6.185		6.837		7.637		8.597		9.451		10.65						
4.25		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—					
4.50	3.463		3.876		4.285		4.825		5.410		6.085		6.985		7.737		8.637		9.717		10.70		12.05		(13.63)				
4.75		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—			
5.00	3.863		4.326		4.785		5.385		6.035		6.785		7.785		8.637		9.637		10.84		11.35		13.45		15.20		(17.20)		
5.30		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
5.60	4.343		4.866		5.385		6.057		6.785		7.625		8.745		9.717		10.84		12.18		13.45		15.13		17.09		19.33		21.54
6.00		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
6.30	4.903		5.496		6.085		6.841		7.660		8.605		9.865		10.98		12.24		13.75		15.20		17.09		19.30		21.82		(24.3)
6.70		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
7.10			6.216		6.885		7.737		8.660		9.725		11.15		12.42		13.84		15.54		17.20		19.33		21.82		24.66		(27.54)
7.50				—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—		—	
8.00					7.785		8.745		9.785		10.99		12.59		14.04		15.64		17.56		19.45		21.85		(24.65)		(27.85)		(31.14)
8.50						—		—				—		—		—		—		—		—		—		—		—	
9.00							9.365		11.04		12.39		14.19		15.84		17.64		19.80		21.95		(24.65)		(27.80)		(31.40)		(35.14)

注：（ ）内尺寸为不推荐规格。

三、电缆线(见表5-6)

表5-6　电　缆　线

标准号	名　称	型　号	规　格	标注方法	备　注
JB/T6213.3—2006	电机绕组引接软电缆和软线 第3部分:连续运行导体最高温度为90℃的软电缆和软线	JEM	截面积:0.75,1,1.5,2.5,4,6,10,16,25,35,50,70,95,120,150,185,240	引接线 JEM—500—16	130级绝缘 500V、1000V(1140V)、3000V、6000V、10000V
JB/T6213.6—2006	电机绕组引接软电缆和软线 第6部分:连续运行导体最高温度为125℃和150℃的软电缆和软线		截面积:0.75,1,1.5,2.5,4,6,10,16,25,35,50,70,95,120	引接线 JYJ125—500—16 引接线 JYJ150—500—16	130级绝缘 500V、1000V(1140V)、3000V
Q/AHHT02—2000	硅橡胶绝缘电机引接线	JHXG JGG	截面积:0.75,1,1.5,2.5,4,6,10,16,25,35,50,70,95	引接线 JHXG—10000—1 引接线 JGG—500—1	180级绝缘 500V、(1000V) 1140V、6000V、10000V
	电机引接线	JFEYH	截面积:16,25,35,50,70,95,120	引接线 JFEYH—10000—16	155级绝缘 10000V
	电机引接线	JYJ	截面积:16,25,35,50,70,95,120	引接线 JYJ—6000—16	6000V
	电机引接线	DCEYH	截面积:2.5,25,35,50		1500
	屏蔽芯线	RVVP	芯线数×截面积:3×0.75,3×1,6×1	屏蔽芯线6×1	

四、绝缘材料(见表5-7)

表5-7　绝　缘　材　料

标准号	名 称	型　号	规　格	标注方法	备　注
1. 薄膜带复合制品					
GB/T 13542.4—2009	电气绝缘用薄膜第4部分:聚酯薄膜	6020	0.05、0.10	0.1 薄膜 6020	130℃
JB/T 2726—1996	聚酰亚胺薄膜	6050	0.05、0.10	0.1 薄膜 6050	180℃

（续）

标准号	名 称	型 号	规 格	标注方法	备 注
1. 薄膜带复合制品					
JB/T 4060—1991	聚酯薄膜聚酯纤维非织布柔软复合材料	6630(DMD)	0.20、0.25、0.30、0.35	0.2 复合材料 6630	130℃ 155℃
JB/T 4061.1—1995	聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料	6640(NMN)	0.20、0.25、0.30、0.35	0.2 复合材料 6640	155℃
JB/T 4062.1—1995	聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料	6650(NHN)	0.20、0.25、0.30，0.35	0.2 复合材料 6650	180℃
JB/T 6236.3—1992	电工用树脂浸渍玻璃纤维无纬绑扎带	2841-W	0.3×25	0.3×25 无纬带 2841-W	155℃ 规格按 JB/T 6236.1
	H 级网状无纬带	2851-W	0.3×25	0.3×25 无纬带 2851-W	180℃
2. 云母制品					
JB/T 6488.4—1995	云母带真空压力浸渍用环氧玻璃粉云母带	5444-1 5446-1 5442-1(P)	0.14×25 0.13×25	0.14×25 云母带 5446-1 0.13×25 云母带 5442-1P	155℃
Q/XXB522—2000	改性二苯醚粉云母箔	X522	0.15，0.17	0.15 粉云母箔 X522	180℃
	单面透气保护带	S6741	0.10×25	0.10×25 保护带 S6741	
	F 级粉云母箔	5841-1 5843-2	0.13×25	0.13×25 云母箔 5841-1	180℃
3. 绝缘纤维制品					
JB/T8148.3—1999	有机硅玻璃漆布	2450	0.15×20	0.15×20 漆布 2450	180℃
Q/XXB242—1998	环氧二苯醚玻璃坯布	X242	0.09	0.09 玻璃坯布 X242	155℃
JB/T8151.1—1999	硅橡胶玻璃纤维软管	2760-2	直径：1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14,16,20,18,23,25,27,32	ϕ2 软管 2760-2	180℃

（续）

标准号	名 称	型　号	规　格	标注方法	备　注
3. 绝缘纤维制品					
	间苯二酚环氧玻璃坯布	9241	0.1	0.1 玻璃布坯 9241	155℃
4. 层压制品、塑料					
GB/T 1303.4—2009	环氧树脂硬质层压板	3240	0.5，1.0，2.0，3.0，4.0，5.0，6.0，8.0，10，14，15，16，20，25，30，32，40，50	2 层压板 3240	130℃
Q/JY3008	环氧酚醛防电晕层压玻璃布板	9332	0.5，1，1.5，2.0，2.5，3.0	2 层压板 9332	155℃
Q/JY3012	9334 双马来酰亚胺层压玻璃布板	9334	0.5，1，1.5，2.0，2.5，3.0	2 层压板 9334	180℃
JB/T8150—1999	环氧层压玻璃布管	3641	内径×壁厚：8×1.5，12×1.5，16×1.5，20×1.5，22×1.5，24×1.5，28×1.5，32×1.5，35×1.5，115×2，190×2，220×2，275×2，350×3	ϕ20×1.5 层压管 3640	130℃
	上胶聚芳酰胺纤维纸	Nomex-410	0.127	0.127 纤维纸 Nomex-410	
	预浸涤纶毡				
	聚四氟乙烯	SFB-2	1.5，2，3	1.5 板 SFB-2	
JB/T 7770—1995	不饱和聚酯玻璃纤维增强模塑料	塑料 4342		塑料 4342	155℃
5. 绝缘漆					
	无溶剂环氧浸渍漆	JF9950		F 级无溶剂漆 JF9950	155℃ 180℃
	F 级不饱和聚酯浸渍漆	JF9801H6		无溶剂漆 JF9801H6	155℃
	H 级无溶剂浸渍漆	H9150 H9110		浸渍漆 H9150	180℃

（续）

标准号	名 称	型 号	规 格	标注方法	备 注
6. 其它漆类					
HG/T2239—1991	铁红锌黄铁黑环氧酯底漆	H06-2		锌黄环氧底漆 H06-2	
	环氧富锌底漆			环氧富锌底漆	
	丙烯酸聚氨酯磁漆			丙烯酸聚氨酯磁漆	
HG/T 2576—1994	各色醇酸磁漆	Ⅰ型用于室内 Ⅱ型用于户外		大红醇酸磁漆Ⅱ型	
HG/T 3354—2003	各色环氧酯腻子	Ⅱ型(H07-5)	Ⅱ型	环氧腻子Ⅱ型	Ⅱ型为自干型
HG/T3356—2003	各色硝基腻子			硝基腻子	
JB/T9555—1999	电气绝缘用醇酸瓷漆	1321		灰瓷漆 1321	
	耐热底漆			耐热底漆	
	耐辐照底漆			耐辐照底漆	
	耐辐照面漆			耐辐照面漆	
	环氧云铁中涂漆			环氧云铁中涂漆	
7. 其它					
JC/T174—2005	无碱玻璃纤维带	ET100-25	0.1×20, 0.1×25	0.1×25 无碱带 ET100-25	
	聚酯纤维带		0.1×25, 0.2×30	0.1×25 聚酯纤维带	
	涤纶玻璃丝绳		ϕ5, ϕ16	ϕ5 涤纶玻璃丝绳	
	无碱玻璃纤维绳		ϕ2, ϕ3, ϕ4	ϕ2 丝绳	
	环氧玻璃引拔槽楔		1.5	1.5 引拔槽楔 F 级	155℃
	玻璃纤维增强聚酰亚胺耐辐射槽楔			聚酰亚胺耐辐射槽楔	220℃
Q/JBQR6	无碱玻璃纤维套管	ESL	标称内径 ϕ2、3、4、5	ϕ2 无碱套管 ESL	

（续）

标准号	名 称	型 号	规 格	标注方法	备 注
7. 其它					
JC/T174—2005	VPI 整浸低阻带	TJ2651-2V	0.08×25	0.08×25 低阻带 TJ2651-2V	
	VPI 整浸高阻带	TJ2651-1V	0.18×20	0.18×20 高阻带 TJ2651-1V	

五、辅助材料(见表5-8)

表5-8　辅 助 材 料

标准号	名 称	型 号	规 格	标注方法	备 注
GB/T 254—2010	半精炼石蜡	54号		54号白石蜡	
SH/T 0692—2000	防锈油	2号		2号防锈油	
GB/T 7324—2010	通用锂基润滑脂	2号 3号		2号锂基润滑脂	
GB/T 17930—2006	车用无铅汽油	90号		90号汽油	
GB/T 443—1989	L-AN 全损耗系统用油	L-AN15、L-AN22、L-AN32L-AN46L-AN68		L-AN15 全损耗系统用油	
FZ/T25001—1992	工业用毛毡	112-41	厚度：4,5,6,8,12	112-41 工业用毛毡	112-41 轴承密封 552-36 一般密封用
		522-36	厚度:6,8,12	522-36 工业用毛毡	
GB/T 326—2007	石油沥青纸胎油毡	粉毡 350	重量 28.5kg	石油沥青油毡粉毡350号	包装箱用
	钢化玻璃圆板		直径×厚度：50×8,81×5	ϕ81×5 钢化玻璃板	
	软聚乙烯薄膜		厚度:0.8	0.8 软聚乙烯薄膜	包装产品用
GB/T 10046—2008	银钎料	B-Ag45CuZn	ϕ2,ϕ4	ϕ4 银焊料 B-Ag45CuZn	
		B-Ag50CuZn			
GB/T 6418—2008	铜基钎料	BCu80AgP(料204)	ϕ2,ϕ4,ϕ5	ϕ5 磷铜钎料 BCu89PAg	
		BCu89PAg			
	303 粘接剂	303			
	704 硅胶	704			

（续）

标准号	名　称	型　号	规　格	标注方法	备　注
	XH-11 结构胶	XH-11			
	M-1 密封胶	M-1			
	热缩管	LRS-I	5×15, 8×20, 10×20, 14×20, 16×20, 18×20, 26×30, 20×25, 30×30, 34×30	5×15 热缩管 LRS-I	
HG/T3354—2003	各色环氧脂腻子	Ⅰ型:烘干型 Ⅱ型:自干型		环氧腻子Ⅰ型	
GB/T 10044—2006	铸铁焊条及焊丝	Z308	直径 3.2	ϕ3.2 铸铁焊条 Z308	
GB/T 983—1995	不锈钢焊条	E347-15 E347-16 E309-16	直径 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0	ϕ2 焊条 E309	
GB/T 5117—1995	碳钢焊条	E4301（药皮类型为钛铁矿型） E4303（药皮类型为钛钙型） E5016（药皮类型为低氢钾型）	直径 2.5, 3.2, 4, 5	ϕ4 焊条 E4303	
GB/T 11120—1989	L-TSA 汽轮机油	L-TSA	46, 32	L-TSA32 汽轮机油	
	电机防潮加热带		260×15, 350×15, 460×15	加热带 260×15/220V/20W	220V/20W 220V/30W 220V/40W 220V/60W
	玻璃纤维电热带		650×15, 950×15, 1200×15, 1300×15, 1700×15	加热带 650×15/220V/20W	
	黑色高密度泡沫塑料胶料				

（续）

标准号	名　称	型　号	规　格	标注方法	备　注
GB/T 5574—2008	工业橡胶板	耐油性能： B类：中等耐油，C类：耐油。 抗拉强度（MPa）分为：4型≥7，5型≥10。 拉断伸长率（%）：4级≥250，5级≥300。 公称硬度（邵尔氏硬度）：H6：60，H7：70，H8：80. 耐热空气老化性能Ar2 耐热性能Hr：规定试验温度为Hr2 125℃	厚度：1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10、12、14	中等耐油、抗拉强度为7MPa，拉断伸长率为250%，公称硬度为60邵尔氏硬度，耐热100℃、厚度为2.5的工业橡胶板标注为：工业橡胶板B4-4 H6 Hr2-2.5	
	铂热电阻	WZPD-6×30-2D WZPD-2(3)×10×250/2500(4000) $WZPD_2$-2(3)×10×250/2500(4000) WZPD-2(3)×8×80/2500(4000) $WZPD_2$-2(3×8×80/2500(4000)		铂热电阻WZPD-6×30-2D	垫条仅为16×80和8×80两种
GB/T 718—2005	生铁	Z14-34		生铁Z14-34	
GB/T 2272—2009	硅铁	Si 75%		硅铁Si 75%	
GB/T 3795—2006	锰铁	Mn65%		锰铁Mn65%	
GB/T 1996—2003	冶金焦碳	≥80m/m		冶金焦碳≥80m/m	
GB/T 15057.1-11—1994	石灰石			石灰石	
GB/T 9442—1998	砂砂	70-140目、100-200目		砂砂200目	

（续）

标准号	名 称	型 号	规 格	标注方法	备 注
JB/T 9222—2008	湿型铸造用煤粉	200 目		湿型煤粉 200 目	
	铅粉	200 目		铅粉 200 目	
	磷状铅粉	200 目		磷状铅粉 200 目	
GB/T 2733—2005	膨润土	200 目		膨润土 200 目	
	红硅石			红硅石	
GB/T 3994—2005	粘土质耐火砖			粘土质耐火砖	

六、轴承

1. 常用轴承类型、结构及轴承代号新旧标准对照（见表 5-9）

表 5-9 常用轴承对照表

轴承名称	GB/T 272—1993				GB/T 272—1988			
	类型代号	尺寸系列代号	轴承代号	宽度系列代号	结构代号	类型代号	直径系列代号	轴承代号
双列角接触球轴承	(0)	32	3200	3	05	6	2	3056200
	(0)	33	3300	3	05		3	3056300
调心球轴承	1	(0) 2	1200	0	00	1	2	1200
	(1)	22	2200	0	00		5	1500
	1	(0) 3	1300	0	00		3	1300
	(1)	23	2300	0	00		6	1600
调心滚子轴承	2	13	21300C	0	05	3	3	53300
	2	22	22200C	0	05		5	53500
	2	23	22300C	0	05		6	53600
	2	30	23000C	3	05		1	3053100
	2	31	23100C	3	05		7	3053700
	2	32	23200C	3	05		2	3053200
	2	40	24000C	4	05		1	4053100
	2	41	24100C	4	05		7	4053700
推力调心滚子轴承	2	92	29200	9	03	9	2	9039200
	2	93	29300	9	03		3	9039300
	2	94	29400	9	03		4	9039400

（续）

轴承名称	GB/T 272—1993				GB/T 272—1988			
	类型代号	尺寸系列代号	轴承代号	宽度系列代号	结构代号	类型代号	直径系列代号	轴承代号
圆锥滚子轴承	3	02	30200	0	00	7	2	7200
	3	03	30300	0	00		3	7300
	3	13	31300	0	02		3	27300
	3	20	32000	2	00		1	2007100
	3	22	32200	0	00		5	7500
圆锥滚子轴承	3	23	32300	0	00	7	6	7600
	3	29	32900	2	00		9	2007900
	3	30	33000	3	00		1	3007100
	3	31	33100	3	00		7	3007700
	3	32	33200	3	00		2	3007200
双列深沟球轴承	4	(2) 2	4200	0	81	0	5	810500
	4	(2) 3	4300	0	81		6	810600
推力球轴承	5	11	51100	0	00	8	1	8100
	5	12	51200	0	00		2	8200
	5	13	51300	0	00		3	8300
	5	14	51400	0	00		4	8400
双向推力球轴承	5	22	52200	0	03	8	2	38200
	5	23	52300	0	03		3	38300
	5	24	52400	0	03		4	38400
带球面座圈推力球轴承	5	121	53200	0	02	8	2	28200
	5	13	53300	0	02		3	28300
	5	14	53400	0	02		4	28400
带球面座圈双向推力球轴承	5	222	54200	0	05	8	2	58200
	5	23	54300	0	05		3	58300
	5	24	54400	0	05		4	58400
深沟球	6	17	61700	1	00	0	7	1000700
	6	37	63700	3	00		7	3000700
	6	18	61800	1	00		8	1000800
	6	19	61900	1	00		9	1000900
	6	(0) 0	16000	7	00		1	7000100
	6	(1) 0	6000	0	00		1	100
	6	(0) 2	6200	0	00		2	200
	6	(0) 3	6300	0	00		3	300
	6	(0) 4	6400	0	00		4	400

（续）

轴承名称	GB/T 272—1993				GB/T 272—1988			
	类型代号	尺寸系列代号	轴承代号	宽度系列代号	结构代号	类型代号	直径系列代号	轴承代号
角接触球轴承	7	19	71900	1	03	6	9	1036900
	7	（1）0	7000	0	03		1	36100
	7	（0）2	7200	0	04		2	4-6200
	7	（0）3	7300	0	06		3	6-6300
	7	（0）4	7400	0			4	6400
推力圆柱滚子轴承	8	11	81100	0	00	9	1	9100
	8	12	81200	0	00		2	9200
内圈无挡边圆柱滚子轴承	NU	10	NU1000	0	03	2	1	32100
	NU	（0）2	NU200	0	03		2	32200
	NU	22	NU2200	0	03		5	32500
	NU	（0）3	NU300	0	03		3	32300
	NU	23	NU2300	0	03		6	32600
	NU	（0）4	NU400	0	03		4	32400
内圈单挡边圆柱滚子轴承	NJ	（0）2	NJ200	0	04	2	2	42200
	NJ	22	NJ2200	0	04		5	42500
	NJ	（0）3	NJ300	0	04		3	42300
	NJ	23	NJ2300	0	04		6	42600
	NJ	（0）4	NJ400	0	04		4	42400
内圈单挡边并带平挡圈圆柱滚子轴承	NUP	（0）2	NUP200	0	09	2	2	92200
	NUP	22	NUP2200	0	09		5	92500
	NUP	（0）3	NUP300	0	09		3	92300
	NUP	23	NUP2300	0	09		6	92600
外圈无挡边圆柱滚子轴承	N	10	N1000	0	00	2	1	2100
	N	（0）2	N200	0	00		2	2200
	N	22	N2200	0	00		5	2500
	N	（0）3	N300	0	00		3	2300
	N	23	N2300	0	00		6	2600
	N	（0）4	N400	0	00		4	2400
外圈单挡边圆柱滚子轴承	NF	（0）2	NF200	0	01	2	2	12200
	NF	（0）3	NF300	0	01		3	12300
	NF	23	NF2300	0	01		6	12600
双列圆柱滚子轴承	NN	30	NN3000	3	28	2	1	3282100
内圈无挡边双列圆柱滚子轴承	NNU	49	NNU4900	4	48	2	9	4482900
带顶丝外球面球轴承	UC	2	UC200	0	09	0	5	90500
	UC	3	UC300	0	09		6	90600

（续）

轴承名称	GB/T 272—1993				GB/T 272—1988			
	类型代号	尺寸系列代号	轴承代号	宽度系列代号	结构代号	类型代号	直径系列代号	轴承代号
带偏心套外球面球轴承	UEL	2	UEL200	0	39		5	390500
	UEL	3	UEL300	0	39	0	6	390600
圆锥孔外球面球轴承	UK	2	UK200	0	19		5	190500
	UK	3	UK300	0	13	0	6	190600
四点接触球轴承	QJ	（0）2	QJ200	0	17		2	176200
	QJ	（0）3	QJ300	0	17	6	3	176300
滚针轴承	NA	48	NA4800	4	54		8	4544800
		49	NA4900	4	54	4	9	4544900
		69	NA6900	6	25	4	9	6254900

注：1. 表中括号（）表示该数字在代号中省略。
2. 尺寸系列分别为12、13、14，表示成32、33、34。
3. 尺寸系列分别为22、23、24，表示成42、43、44。

2. 轴承前、后置代号对照（见表5-10、5-11、5-12）

表5-10　前置代号对照

代号对照		示例对照	
GB/T 272—1993	GB/T 272—1988	GB/T 272—1993	GB/T 272—1988
L	—	LNU207，表示NU207轴承内圈	—
R	无代号，用轴承结构型式表示	RNU207，表示无内圈的NU207轴承 RNA6904表示无内圈的NA6904轴承	292207 6354904
K	—	K81107，表示81107轴承的滚子与保持架组件	309707
WS	—	WS81107，表示81107轴承轴圈	—
GS	—	GS81107，表示81107轴承座圈	—

表5-11　后置代号中内部结构代号对照

代号对照		示例对照	
GB/T 272—1993	GB/T 272—1988	GB/T 272—1993	GB/T 272—1988
AC	无代号，用轴承结构型式表示	7210AC，表示公称接触角为 $\alpha=25°$ 的角接触球轴承	46210
B		7210B，表示公称接触角为 $\alpha=40°$ 的角接触球轴承 32310B，接触角加大的圆锥滚子轴承	66210 —
C		7210C，表示公称接触角 $\alpha=15°$ 的角接触球轴承	36210 3053722

（续）

代号对照		示例对照	
GB/T 272—1993	GB/T 272—1988	GB/T 272—1993	GB/T 272—1988
E		NU207E，表示加强型内圈无挡边圆柱滚子轴承 K50×55×20D，	32207E
D、ZW		K20×25×40ZW，表示双列滚子保持架组件	KS505520 KK202540

表 5-12 后置代号中密封、防尘与外部形状变化对照见

代号对照		示例对照	
GB/T 272—1993	GB/T 272—1988	GB/T 272—1993	GB/T 272—1988
K	无代号，用轴承结构型式表示	1210K，表示有圆锥孔调心球轴承 23200K，表示有圆锥孔调心滚子轴承	111210 3153220
K30		24122K30，表示有圆锥孔（1∶30）调心滚子轴承	4453722
R		30307R，表示凸缘外圈圆锥滚子轴承	67307
N		6210N，表示外圈上有止动槽的深沟球轴承	50210
NR		6210NR，表示外圈上有止动槽并带止动环的深沟球轴承	—
-RS		6210-RS，表示一面带密封圈（接触式）的深沟球轴承	160210
-2RS		6210-2RS，表示两面带密封圈（接触式）的深沟球轴承	180210
-RZ		6210-RZ，表示一面带密封圈（非接触式）的深沟球轴承	160210K
-2RZ		6210-2RZ，表示两面带密封圈（非接触式）的深沟球轴承	180210K
-Z		6210-Z，表示一面带防尘盖的深沟球轴承	60210
-2Z		6210-2Z，表示两面带防尘盖的深沟球轴承	80210
-RSZ		6210-RSZ，表示一面带密封圈（接触式）另一面带防尘盖的深沟球轴承	—
-RZZ		6210-RZZ，表示一面带密封圈（非接触式），另一面带防尘盖的深沟球轴承	—
-ZN		6210-ZN，表示一面带防尘盖，另一面外圈有止动槽的深沟球轴承	150210

（续）

代号对照		示例对照	
GB/T 272—1993	GB/T 272—1988	GB/T 272—1993	GB/T 272—1988
-2ZN		6210-2ZN，表示两面带防尘盖，外圈有止动槽的深沟球轴承	250210
-ZNR		6210-NZR，表示防尘盖和止动槽在同一面上的深沟球轴承	—
-ZNB		6210-ZNB，表示防尘盖和止动槽在同一面上的深沟球轴承	—
U		53210U，表示带球面座圈的推力球轴承	18210

七、铸铝转子用铝及铝锰合金

1. 电机铸铝转子用铝

电机铸铝转子导电用铝一般采用一级锭，它是含铝量在 99.5% 以上的工业纯铝，也有厂家采用 Al99.5 铝锭或 Al99.6 与 Al99.5 铝锭混合使用，但要求铝的纯度不得低于 99.5%，见表 5-13、表 5-14。

表 5-13 GB/T 1196—2008 重熔用铝锭的化学成分及牌号

牌号	化学成分（质量分数）（%）								
	Al	杂质 ≤							
	≥	Fe	Si	Cu	Ca	Mg	Zn[a]	其他每种	总和
Al99.90	99.90	0.07	0.05	0.005	0.02	0.01	0.025	0.010	0.10
Al99.85	99.85	0.12	0.08	0.005	0.03	0.02	0.03	0.015	0.15
Al99.70	99.70	0.20	0.10	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.30
Al99.60	99.60	0.25	0.16	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.40
Al99.50	99.50	0.30	0.22	0.02	0.03	0.05	0.05	0.03	0.50
Al99.00	99.00	0.50	0.42	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	1.00

注：1. 铝含量为 100% 与表中所列有数值要求的杂质元素含量实测值及等于或大于 0.010% 的其他杂质总和的差值，求和前数值修约至与表中所列极限数位一致，求和后将数值修约至 0.0X% 再与 100% 求差。
2. 对于表中未规定的其他杂质元素含量，如需方有特殊要求时，可由供需双方另行协议。
3. 分析数值的判定采用修约比较法，数值修约规则按 GB/T 8170 的有关规定进行。修约数位与表中的所列极限数位一致。
4. 若铝锭中杂质锌含量不小于 0.010% 时，供方应将其作为常规分析元素，并纳入杂质总和；若铝锭中杂质锌含量小于 0.010% 时，供方可不作常规分析，但应每季分析一次，监控其含量。

表 5-14 导电用铝的主要物理性能

熔点/℃	658	抗拉强度(硬态)/(MN/m²)	147 ~ 176
沸点/℃	2467	延伸率(软态)(%)	20 ~ 40
密度(20℃)/(g/cm³)	2.7	凝固体积收缩率(%)	6.6
电阻率(20℃)×10⁻³/(Ω·m)	2.9	再结晶高温度/℃	150 ~ 250

2. 对高起动转矩的转子用铝一般为高电阻铝锰合金。

(1) 高电阻铝锰合金化学成份

化学成份	Mn	Si	Fe	Ti	Re	杂质	Al
高电阻锰合金	1.75% ~ 1.85%	0.2%	<0.3%	<0.15%	<0.03%	<0.55%	其余

(2) 机械性能（以 $\phi 8$ 试棒测得）

机械性能	σ_b	δ	$\sigma_{0.2}$	HB
高电阻铝锰合金	>11.5kg/mm²	>25%	>4.01kg/mm²	>38kg/mm²

(3) 高电阻铝锰合金电气性能

1) 75℃时的电阻系数

$$\sigma 75 = 0.086 - 0.094 \text{mm}^2 \Omega/\text{m}$$

（以 $\phi 7 \times 150$ 铸棒，用精度为 0.2 级的 ϕj44 双臂电桥测出）。

2) 在 25℃ ~ 100℃时电阻温度系数

$$\alpha = 0.0000864 \Omega/℃$$

第二节 常用标准目录

一、产品标准及相关标准（见表 5-15）

表 5-15 产品标准及相关标准

产品标准	
标 准 号	标 准 名 称
JB/T10105—1999	YZR 系列起重及冶金用绕线转子三相异步电动机技术条件
JB/T 10104—1999	YZ 系列起重及冶金用三相异步电动机技术条件
JB/T 7842—1995	YZR-Z 系列起重专用绕线转子三相异步电动机技术条件
GB/T 21974—2008	YZRW 系列起重及冶金用涡流制动绕线转子三相异步电动机技术条件
JB/T 7561—2002	WZ 系列起重及冶金用涡流制动器技术条件
JB/T 7078—2002	YZRF、YZRG 系列起重及冶金用强迫通风型绕线转子三相异步电动机技术条件
JB/T 7077—2002	YZRE 系列起重及冶金用电磁制动绕线转子三相异步电动机技术条件

（续）

标　准　号	标 准 名 称
产品标准	
GB/T 21971—2008	YZD 系列起重用多速三相异步电动机技术条件
GB/T 21967—2008	YBZE、YBZSE 系列起重用隔爆型电磁制动三相异步电动机技术条件
GB/T 21968—2008	YBZS 系列起重用隔爆型双速三相异步电动机技术条件
GB/T 21972. 1—2008	YZP 系列起重及冶金用变频调速三相异步电动机技术条件
GB/T 21969—2008	YGP 系列辊道用变频调速三相异步电动机技术条件
GB/T 21973—2008	YZR3 系列起重及冶金用绕线转子三相异步电动机技术条件
GB/T 21975—2008	起重及冶金用三相异步电动机可靠性试验方法
GB 20237—2006	起重冶金和屏蔽电机安全要求
GB 20294—2006	隔爆型起重冶金和屏蔽电机安全要求
相关标准	
GB 755—2008	旋转电机　定额和性能
GB 3836. 1—2010	爆炸性环境　第 1 部分：设备通用要求
GB 3836. 2—2010	爆炸性环境　第 2 部分：由外壳“d”保护的设备
GB 3836. 3—2010	爆炸性环境　第 3 部分：由外壳“e”保护的设备
GB 10068—2008	轴中心高为 56mm 及以上电机的机械振动　振动的测量评定及限值
GB/T 10069. 1—2006	旋转电机噪声测定方法及限值　第 1 部分：旋转电机噪声测定方法
GB 10069. 3—2008	旋转电机噪声测定方法及限值　第 3 部分：噪声限值
GB/T 1993—1993	旋转电机冷却方法
GB/T 4942. 1—2006	旋转电机整体结构的防护等级（IP 代码）分级
GB/T 997—2008	旋转电机结构型式、安装型式及接线盒位置的分类（IM 代码）
GB/T 1032—2005	三相异步电动机试验方法
GB/T 756—1990	旋转电机　圆柱形轴伸
GB/T 757—1993	旋转电机　圆锥形轴伸
GB/T 4831—1984	电机产品型号编制方法
GB/T 4772. 2—1999	旋转电机尺寸和输出功率等级　第 2 部分：机座号 355 ~ 1000 和凸缘号 1180 ~ 2360
JB/T4375—1999	电工产品户外户内防腐蚀场所使用环境条件
GB/T 22715—2008	交流电机定子线圈耐冲击电压水平
GB/T 2900. 25—2008	电工术语　旋转电机
GB/T 2900. 35—2008	电工术语　爆炸性环境用设备

二、常用原材料标准目录（见表5-16）

表5-16 常用原材料标准目录

黑色金属	
标准号	标准名称
GB/T 699—1999	优质碳素结构钢
GB/T 700—2006	碳素结构钢
GB/T 701—2008	低碳钢热轧圆盘条
GB/T 702—2008	热轧钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 706—2008	热轧型钢
GB/T 708—2006	冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 709—2006	热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 908—2008	锻制钢棒尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 1220—2007	不锈钢棒
GB/T 2521—2008	冷轧取向和无取向电工钢带（片）
GB/T 3077—1999	合金结构钢技术条件
GB/T 3091—2008	低压流体输送用焊接钢管
GB/T 3280—2007	不锈钢冷轧钢板和钢带
GB/T 4237—2007	不锈钢热轧钢板和钢带
GB/T 4357—2009	冷拉碳素弹簧钢丝
GB/T 5212—1985	电工用热轧硅钢薄钢板
GB/T 8110—2008	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
GB/T 8162—2008	结构用无缝钢管
GB/T 9439—1988	灰铸铁件
GB/T 11352—2009	一般工程用铸造碳钢件
GB/T 14975—2002	结构用不锈钢无缝钢管
GB/T 14981—2009	热轧盘条尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 17395—2008	无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
JB/T 2833—1992	通风槽钢
YB/T 025—2002	包装用钢带

（续）

有色金属	
标　准　号	标准名称
GB/T 1173—1995	铸造铝合金
GB/T 1196—2008	重熔用铝锭
GB/T 1470—2005	铅及铅锑合金板
GB/T 1527—2006	铜及铜合金拉制管
GB/T 2040—2008	铜及铜合金板材
GB/T 3131—2001	锡铅钎料
GB/T 3191—1998	铝及铝合金挤压棒材
GB/T 3880. 1—2006	一般工业用铝及铝合金板、带材第 1 部分：一般要求
GB/T 3880. 3—2006	一般工业用铝及铝合金板、带材第 3 部分：尺寸偏差
GB/T 4423—2007	铜及铜合金拉制棒
GB/T 4436—1995	铝及铝合金管材外形尺寸及允许偏差
GB/T 5187—2008	铜及铜合金箔材
GB/T 16866—2006	一铜及铜合金无缝管材外形尺寸及允许偏差
GB/T 6893—2000	铝及铝合金拉（制）无缝管
GB/T 17793—1999	一般用途的加工铜及铜合金板带材　外形尺寸及允许偏差
电线电缆	
GB/T 3953—2009	电工圆铜线
GB/T 5584. 1—2009	电工用铜、铝及其合金扁线 第 1 部分：一般规定
GB/T 5584. 2—2009	电工用铜、铝及其合金扁线 第 2 部分：铜扁线
GB/T 5584. 4—2009	电工用铜、铝及其合金扁线 第 4 部分：铜带
GB/T 5585. 1—2005	电工用铜、铝及其合金母线 第 1 部分：铜及铜合金母线
GB/T 6109. 2—2008	漆包圆绕组线第 2 部分：155 级改性聚酯漆包铜圆线
GB/T 6109. 5—2008	漆包圆绕组线 第 5 部分：180 级聚酯亚胺漆包铜圆线
GB/T 6109. 6—2008	漆包圆绕组线 第 6 部分：220 级聚酰亚胺漆包铜圆线
GB/T 6213. 3—2006	电机绕组引接软电缆和软线 第 3 部分：连续运行导体最高温度为 90℃ 的软电缆和软线
GB/T 6213. 6—2006	电机绕组引接软电缆和软线 第 6 部分：连续运行导体最高温度为 125℃ 和 150℃ 的软电缆和软线
GB/T 7672. 6—2008	玻璃丝包绕组线　第 6 部分：玻璃丝包薄膜绕包铜扁线
JB/T 9612. 2—1999	电工用异形铜排及铜合金排　第 2 部分：梯形排

（续）

漆及绝缘材料	
漆膜带复合制品	
标　准　号	标 准 名 称
GB/T 13542.4—2004	电气绝缘用薄膜　第4部分：聚酯薄膜
JB/T 2726—1996	聚酰亚胺薄膜
JB/T 4060—1991	聚酯薄膜 聚酯纤维非织布柔软复合材料
JB/T 4061.1—1995	聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料
JB/T 4062.1—1995	聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料
JB/T 5659—1991	电气用压敏粘带聚酰亚胺薄膜热固性胶粘带
云 母 制 品	
JB/T 6488.4—1995	云母带真空压力浸渍用环氧玻璃粉云母带
Q/XXB552—2000	改性二苯醚粉云母箔
绝缘纤维制品	
JB/T 8148.3—1999	有机硅玻璃漆布
JB/T 8151.1—1999	绝缘软管规范 各种型号软管的规范要求 硅橡胶玻璃纤维软管
层压制品及塑料	
GB/T 1303.4—2009	电气用热固性树脂工业硬质层压板 第4部分：环氧树脂硬质层压板
JB/T 7770—1995	不饱和聚酯玻璃纤维增强模塑料
JB/T 8150—1999	环氧层压玻璃布管
Q/JY3008—1990	环氧酚醛防电晕层压玻璃布板
Q/JY3012	9334 双马来酰亚胺层压玻璃布板
其 它 漆	
HG/T 2239—1991	铁红锌黄铁黑环氧酯底漆
HG/T 2576—1994	各色醇酸磁漆
HG/T 3347—1987	乙烯磷化底漆
HG/T 3354—2003	各色环氧酯腻子
HG/T 3356—2003	各色硝基腻子
JB/T 9555—1999	电气绝缘用醇酸瓷漆

杂　　类	
标　准　号	标 准 名 称
GB/T 254—2010	半精炼石蜡
GB/T 326—2007	石油沥青纸胎油毡
GB/T 443—1989	L-AN 全损耗系统用油

（续）

杂　　类	
标　准　号	标准名称
GB/T 983—1995	不锈钢焊条
GB/T 5117—1995	碳钢焊条
GB/T 5574—2008	工业用橡胶板
GB/T 6418—2008	铜基钎料
GB/T 10044—2006	铸铁焊条及焊丝
GB/T 10046—2008	银钎料
GB/T 11120—1989	L-TSA 汽轮机油
GB/T 17930—2006	车用汽油
JB/T 6236. 3—1992	电工用树脂浸渍玻璃纤维无纬绑扎带 定义和一般要求
JB/T 6236. 3—1992	电工用树脂浸渍玻璃纤维无纬绑扎带 技术条件
JC/T 174—2005	无碱玻璃纤维带
SH/T 0692—2000	防锈油
HG/T 3354—2003	各色环氧脂腻子
HG/T 3356—2003	各色硝基腻子
FZ/T 25001—1992	工业用毛毡
Q/JBQR6—1991	无碱玻璃纤维套管
Q/JB1545—1979	环氧玻璃纤维绳
电机用辅助原料	
GB/T 718—2005	铸造用生铁
GB/T 1996—2003	冶金焦碳
GB/T 2272—2009	硅铁
GB/T 3795—2006	锰铁
GB/T 9442—1998	铸造用硅砂
GB/T 15057. 1-11—1994	化工用石灰石
JB/T 9222—2008	湿型铸造用煤粉
	铅粉
	磷状铅粉
	红硅石

附　　录

附录 A　YZR3 系列电动机技术数据

一、YZR3 系列电动机型谱（见附表 A-1）

附表 A-1　YZR3 系列电动机型谱

工作方式	S2								S3　6 次/h																			
负载持续率	30min				60min				15%				25%				40%				60%				100%			
同步转速	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600
机座号	功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW			
112M1	3.3	1.7			3.0	1.5			4.0	2.2			3.3	1.7			3.0	1.5			2.6	1.3			2.0	1.1		
112M2	4.0	2.5			3.7	2.2			5.0	3.0			4.0	2.5			3.7	2.2			3.2	1.8			2.5	1.5		
132M1	6.3	3.3			5.5	3.0			7.5	4.0			6.3	3.3			5.5	3.0			4.8	2.6			4.0	2.0		
132M2	7.0	4.0			6.3	3.7			9.0	5.0			7.0	4.0			6.3	3.7			5.3	3.2			4.8	2.5		
160M1	8.5	6.3			7.5	5.5			10.0	7.5			8.5	6.3			7.5	5.5			6.3	4.8			5.0	4.0		
160M2	13.0	8.5			11.0	7.5			14.0	10.0			13.0	8.5			11.0	7.5			9.5	6.3			8.8	5.5		
160L	17.0	13.0	8.5		15.0	11.0	7.5		20.0	15.0	11.0		17.0	13.0	8.5		15.0	11.0	7.5		13.0	9.0	6.3		11.0	7.5	5.5	
180L	25.0	17.0	13.0		22.0	15.0	11.0		29.0	20.0	15.0		25.0	17.0	13.0		22.0	15.0	11.0		19.0	13.0	9.5		16.0	11.0	8.0	
200L	35.0	25.0	17.0		30.0	22.0	15.0		39.0	31.0	22.0		35.0	25.0	17.0		30.0	22.0	15.0		26.0	19.0	13.0		22.0	16.0	11.0	
225M	42.0	35.0	26.0		37.0	30.0	22.0		50.0	40.0	30.0		42.0	35.0	26.0		37.0	30.0	22.0		32.0	25.0	19.0		27.0	22.0	16.0	
250M1	52.0	42.0	36.0		45.0	37.0	30.0		60.0	50.0	42.0		52.0	42.0	36.0		45.0	37.0	30.0		39.0	32.0	26.0		33.0	27.0	22.0	

（续）

工作方式	S2								S3　6 次/h																			
负载持续率	30min				60min				15%				25%				40%				60%				100%			
同步转速	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600
机座号	功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW			
250M2	63.0	52.0	42.0		55.0	45.0	37.0		75.0	63.0	52.0		63.0	52.0	42.0		55.0	45.0	37.0		47.0	39.0	32.0		40.0	33.0	27.0	
280S1	70.0	63.0	52.0	42.0	63.0	55.0	45.0	37.0	95.0	75.0	60.0	55.0	70.0	63.0	52.0	42.0	63.0	55.0	45.0	37.0	55.0	48.0	39.0	32.0	48.0	40.0	33.0	27.0
280S2	85.0	70.0			75.0	63.0			115	85.0			85.0	70.0	63.0		75.0	63.0	55.0		63.0	53.0	47.0		55.0	46.0	40.0	
280M	100	85.0	63.0	52.0	90.0	75.0	55.0	45.0	120	100	75.0	63.0	100	85.0	70.0	52.0	90.0	75.0	63.0	45.0	75.0	63.0	53.0	39.0	65.0	55.0	46.0	33.0
315S1	125	103	70.0	63.0	110	90.0	63.0	55.0	140	120	84.0	75.0	125	103	85.0	63.0	110	90.0	75.0	55.0	92.0	75.0	63.0	47.0	80.0	65.0	55.0	40.0
315S2			85.0	70.0			75.0	63.0			100	84.0				70.0				63.0				53.0				46.0
315M	155	125	100	85.0	132	110	90.0	75.0	190	155	125	100	155	125	100	85.0	132	110	90.0	75.0	110	92.0	75.0	63.0	95.0	80.0	65.0	55.0
355M			125	100			110	90.0			155	132			125	100			110	90.0			92.0	75.0			80.0	65.0
355L1			150	125			132	110			190	160			150	125			132	110			110	92.0			95.0	80.0
355L2			185	150			160	132			225	185			185	150			160	132			132	110			115	95.0
400L1			230	185			200	160			280	236			230	185			200	160			170	132			145	115
400L2			300	230			250	200			350	270			300	230			250	200			210	170			180	145

工作方式	S4 及 S5																							
	150 次/h												300 次/h								600 次/h			
负载持续率	25%				40%				60%				40%				60%				60%			
同步转速	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600
机座号	功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW			
112M1	3.0	1.6			2.8	1.3			2.2	1.0			2.2	1.2			2.0	0.9			1.8	0.7		
112M2	3.7	2.2			3.5	2.0			2.8	1.7			3.3	1.8			2.8	1.6			2.3	1.3		

（续）

工作方式	S4及S5																							
	150次/h												300次/h								600次/h			
负载持续率	25%				40%				60%				40%				60%				60%			
同步转速	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600
机座号	功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW				功率/kW			
132M1	5.8	3.0			5.0	2.8			4.8	2.2			4.8	2.2			4.5	2.1			3.8	1.8		
132M2	6.6	3.7			5.7	3.5			5.4	2.8			5.4	3.3			5.1	2.8			4.3	2.7		
160M1	7.5	5.8			7.0	5.0			6.0	4.8			6.0	4.8			5.5	4.5			4.0	3.8		
160M2	10.0	7.5			9.0	7.0			8.0	6.0			8.0	6.0			7.0	5.5			5.9	4.0		
160L	14.0	11.0	7.5		13.0	10.0	7.0		11.0	8.0	5.8		11.0	8.0	6.0		10.0	7.5	5.5		9.0	5.9	3.8	
180L	20.0	15.0	11.0		18.0	13.0	10.0		17.0	12.0	8.0		17.0	12.0	8.0		15.0	11.0	7.0		11.0	9.0	5.8	
200L	28.0	21.0	15.0		25.0	18.5	13.0		22.0	17.0	12.0		22.0	17.0	12.0		20.0	15.0	11.0		15.0	11.0	8.0	
225M	34.0	28.0	21.0		33.0	25.0	18.5		30.0	22.0	17.0		28.0	22.0	17.0		26.0	20.0	15.0		20.0	15.0	11.0	
250M1	42.0	33.0	29.0		37.0	30.0	25.0		36.0	28.0	22.0		33.0	26.0	22.0		33.0	25.0	20.0		27.0	17.5	15.0	
250M2	55.0	42.0	33.0		47.0	37.0	30.0		42.0	33.0	28.0		42.0	31.0	26.0		40.0	30.0	25.0		35.0	24.0	18.5	
280S1	63.0	52.0	42.0	33.0	60.0	45.0	37.0	30.0	55.0	42.0	33.0	28.0	50.0	40.0	33.0	26.0	45.0	37.0	30.0	25.0	40.0	30.0	24.0	17.0
280S2	75.0	59.0			70.0	51.0			65.0	48.0	42.0		55.0	45.0	42.0		50.0	42.0	27.0		45.0	34.0	30.0	
280M	85.0	70.0	52.0	42.0	80.0	62.0	45.0	37.0	75.0	55.0		33.0	70.0	52.0		31.0	65.0	47.0	42.0	28.0	60.0	37.0	34.0	22.0
315S1	102	84.0	59.0	50.0	90.0	74.0	50.0	45.0	80.0	66.0	48.0	42.0	75.0	62.0	48.0	40.0	68.0	56.0	48.0	37.0	65.0	44.0	38.0	30.0
315S2			64.0	54.0			60.0	50.0			56.0	46.0			52.0	42.0				40.0				31.0
315M	125	102	74.0	65.0	120	90.0	71.0	60.0	115	80.0	65.0	55.0	105	75.0	60.0	50.0	100	68.0	55.0	48.0	90.0	53.0	41.0	37.0
355M			100	80.0			95.0	72.0			82.0	65.0			78.0	60.0			70.0	55.0			60.0	41.0
355L1			115	100			106	90.0			98.0	80.0			95.0	75.0			85.0	70.0			70.0	50.0
355L2			140	120			125	110			120	95.0			110	90.0			100	80.0			90.0	60.0
400L1			195	145			180	132			170	120			150	110			135	96.0			130	75.0
400L2			240	185			220	165			205	150			195	140			180	120			170	95.0

二、YZR3 系列电动机技术数据（见附表 A-2）

附表 A-2　YZR3 系列电动机技术数据

工作方式	S2								S3 6次/h							
负载持续率	30min				60min				15%				25%			
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
1500r/min																
112M1	3.3	8.3	24.5	1370	3.0	7.6	20.3	1385	4.0	10.0	30.0	1327	3.3	8.3	24.5	1370
112M2	4.0	9.6	21.0	1390	3.7	9.0	18.6	1399	5.0	12.07	28.6	1350	4.0	9.6	21.0	1390
132M1	6.3	13.9	31.0	1391	5.5	12.1	25.9	1409	7.5	16.9	40.4	1360	6.3	13.9	31.0	1391
132M2	7.0	15.4	30.0	1398	6.3	14.0	26.1	1410	9.0	20.3	40.5	1354	7.0	15.4	30.0	1398
160M1	8.5	18.5	34.0	1403	7.5	16.3	28.8	1417	10.0	22.1	42.5	1380	8.5	18.5	34.0	1403
160M2	13.0	27.3	49.2	1413	11.0	23.6	40.5	1429	14.0	29.8	53.5	1404	13.0	27.3	49.2	1413
160L	17.0	35.5	45.0	1428	15.0	31.5	38.8	1438	20.0	41.6	55.7	1413	17.0	35.5	45.0	1428
180L	25.0	51.3	62.6	1429	22.0	45.1	53.1	1439	29.0	59.6	73.9	1415	25.0	51.3	62.6	1429
200L	35.0	66.7	83.2	1447	30.0	58.5	71.6	1455	39.0	76.5	96.8	1438	35.0	66.7	83.2	1447
225M	42.0	82.4	87.0	1458	37.0	71.8	75.6	1464	50.0	97.0	106.8	1449	42.0	82.4	87.0	1458
250M1	52.0	98.6	188.2	1452	45.0	84.3	160.1	1459	60.0	113.8	220.3	1443	52.0	98.6	188.2	1452
250M2	63.0	118.1	181.0	1459	55.0	104.3	154.1	1465	75.0	140.7	217.6	1450	63.0	118.1	181.0	1459
280S1	70.0	139.1	202.0	1461	63.0	116.8	165.5	1468	95.0	178.2	260.2	1448	70.0	139.1	202.0	1461
280S2	85.0	165.3	248.2	1460	75.0	139.1	203.6	1468	115.0	215.7	326.5	1447	85.0	165.3	248.2	1460
280M	100.0	183.5	200.0	1465	90.0	165.1	183.8	1468	120.0	274.1	251.8	1457	100.0	183.5	200.0	1465
315S	125.0	226.0	289.0	1456	110.0	196.2	246.5	1462	140.0	259.0	328.0	1449	125.0	226.0	289.0	1456
315M	155.0	278.0	261.6	1467	132.0	232.5	217.5	1472	190.0	344.0	325.0	1458	155.0	278.0	261.6	1467

（续）

工作方式	S3															
	6次/h															
负载持续率	40%								60%				100%			
项目 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	最大转矩 /倍	空载电流 A	n /(r/min)	效率 (%)	功率因数 cosϕ	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
1500r/min																
112M1	3.0	7.6	20.3	2.5	4.0	1385	76	0.79	2.6	6.7	17.8	1403	2.0	5.9	13.3	1426
112M2	3.7	9.0	18.6	2.5	4.5	1399	79	0.79	3.2	7.9	18.0	1415	2.5	6.7	12.3	1435
132M1	5.5	12.1	25.9	2.5	4.9	1409	83	0.83	4.8	10.7	22.5	1422	4.0	9.2	18.5	1437
132M2	6.3	14.0	26.1	2.5	6.0	1410	83	0.82	5.3	11.9	21.6	1426	4.8	11.3	19.9	1434
160M1	7.5	16.3	28.8	2.8	6.8	1417	82	0.85	6.3	14.2	25.2	1432	5.0	11.8	19.1	1447
160M2	11.0	23.6	40.5	2.8	9.2	1429	83	0.85	9.5	20.7	35.0	1440	8.8	19.4	32.5	1445
160L	15.0	31.5	38.8	2.8	12.4	1438	85	0.85	13.0	27.6	35.5	1447	11.0	24.6	28.5	1456
180L	22.0	45.1	53.1	2.8	16.4	1439	86	0.86	19.0	40.2	46.9	1449	16.0	34.9	39.5	1457
200L	30.0	58.5	71.6	2.8	18.4	1455	88	0.88	26.0	51.59	63.7	1461	22.0	44.7	51.9	1467
225M	37.0	71.8	75.6	3.0	26.1	1464	89	0.87	32.0	64.2	66.8	1469	27.0	55.6	55.9	1474
250M1	45.0	84.3	160.1	3.0	23.1	1459	88	0.91	39.0	74.8	139.0	1465	33.0	63.3	117.3	1471
250M2	55.0	104.3	154.1	3.0	29.0	1465	89	0.90	47.0	89.1	133.7	1470	40.0	77.6	114.8	1475
280S1	63.0	116.8	165.5	3.0	32.1	1468	91	0.90	55.0	102.0	146.8	1472	48.0	91.1	127.1	1476
280S2	75.0	139.1	203.6	3.0	36.0	1468	91	0.90	63.0	116.9	173.9	1475	55.0	103.2	149.9	1479
280M	90.0	165.1	183.8	3.0	42.3	1468	92	0.90	75.0	139.1	155.4	1474	65.0	122.0	13.05	1478
315S	110.0	196.2	246.5	2.5	34.5	1462	91	0.93	92.0	166.9	209.7	1469	80.0	143.6	180.0	1473
315M	132.0	232.5	217.5	3.0	48.5	1472	92	0.93	110.0	197.4	183.0	1477	75.0	170.0	159.1	1480

（续）

工作方式	S2								S3							
									6 次/h							
负载持续率	30min				60min				15%				25%			
项目 机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)
1000r/min																
112M1	1.7	4.9	13.9	881	1.5	4.5	12	899	2.2	6.57	20.1	819	1.7	4.9	13.9	881
112M2	2.5	7.0	14.9	888	2.2	6.3	12.8	905	3.0	8.5	19.4	852	2.5	7.0	14.9	888
132M1	3.3	8.9	22.4	917	3.0	8.2	19.1	926	4.0	10.5	27.3	893	3.3	8.9	22.4	917
132M2	4.0	10.2	15.4	913	3.7	9.6	14.1	920	5.0	13.04	21.3	877	4.0	10.2	15.4	913
160M1	6.3	15.1	33.6	928	5.5	13.7	29.2	939	7.5	18.5	42.4	907	6.3	15.1	33.6	928
160M2	8.5	19.7	32.8	935	7.5	17.3	27.7	945	10.0	23.2	39.7	919	8.5	19.7	32.8	935
160L	13.0	29.7	36.6	944	11.0	25.8	30.2	954	15.0	33.9	43.1	933	13.0	29.7	36.6	944
180L	17.0	37.9	55.9	948	15.0	33.1	47.9	956	20.0	44.1	68.5	935	17.0	37.9	55.9	948
200L	25.0	50.7	87.4	957	22.0	44.6	75.6	963	31.0	64.5	113.2	943	25.0	50.7	87.4	957
225M	35.0	71.0	92.1	965	30.0	61.6	79.2	971	40.0	80.3	109.5	959	35.0	71.0	92.1	965
250M1	42.0	82.4	113.3	962	37.0	72.1	98.2	967	50.0	100.5	140.3	953	42.0	82.4	113.3	962
250M2	52.0	102.0	121.7	970	45.0	88.3	102.2	975	63.0	123.6	149.5	963	52.0	102.0	121.7	970
280S1	63.0	123.6	146.5	968	55.0	110.4	124.2	972	75.0	147.1	178.6	960	63.0	123.6	146.5	968
280S2	70.0	139.0	147.0	974	63.0	126.6	129.5	979	85.0	166.7	178.9	968	70.0	139.0	147.0	974
280M	85.0	163.0	173.1	972	75.0	145.5	149.1	975	100.0	191.8	208.7	965	85.0	163.0	173.1	972
315S	103.0	195.0	246.7	976	90.0	169.2	214.5	979	120.0	225	294.6	971	103.0	195.0	246.7	976
315M	125.0	234.4	255.6	976	110.0	203.5	224.5	979	155.0	294	328.5	969	125.0	234.4	255.6	976

（续）

工作方式	S3															
	6 次/h															
负载持续率	40%								60%				100%			
项目 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	最大转矩 /倍	空载电流 A	n /(r/min)	效率 (%)	功率因数 $\cos\phi$	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
1000r/min																
112M1	1.5	4.5	12.0	2.8	3.0	899	71	0.71	1.3	4.1	9.8	915	1.1	3.8	8.3	928
112M2	2.2	6.3	12.8	2.8	5.0	905	73	0.72	1.8	5.6	10.4	924	1.5	5.2	8.6	937
132M1	3.0	8.2	19.1	2.8	5.0	926	77	0.72	2.6	7.4	17.2	937	2.0	6.8	14.1	947
132M2	3.7	9.6	14.1	2.5	5.0	920	77	0.76	3.2	8.6	11.6	937	2.5	7.3	9.2	949
160M1	5.5	13.7	29.2	2.5	6.7	939	78	0.78	4.8	13.9	24.4	948	4.0	11.0	20.7	958
160M2	7.5	17.3	27.7	2.5	7.5	945	81	0.81	6.3	15.1	23.1	955	5.5	13.9	20.4	961
160L	11.0	25.8	30.2	2.8	12.5	954	83	0.78	9.0	22.5	24.1	963	7.5	19.9	20.4	970
180L	15.0	33.08	47.9	2.5	13.0	956	83	0.83	13.0	29.3	41.2	962	11.0	24.8	34.2	969
200L	22.0	44.6	75.6	2.8	15.1	963	86	0.87	19.0	39.0	64.8	969	16.0	34.1	54.2	974
225M	30.0	61.6	79.2	3.0	24.2	971	87	0.85	25.0	52.6	65.1	976	22.0	48.1	58.3	979
250M1	37.0	72.1	98.2	2.8	21.5	967	87	0.89	32.0	62.7	84.2	972	27.0	54.2	70.8	977
250M2	45.0	88.3	102.2	3.0	32.2	975	88	0.87	39.0	77.3	88.9	978	33.0	68.7	75.2	981
280S1	55.0	110.4	124.2	3.0	41.2	972	89	0.85	48.0	76.9	108.9	976	40.0	84.4	90.7	980
280S2	63.0	126.6	129.5	3.0	52.5	979	90	0.84	53.0	112.5	119.2	980	46.0	99.8	92.8	984
280M	75.0	145.5	149.1	3.0	47.9	975	90	0.87	63.0	123.7	123.6	980	55.0	113.2	107.0	982
315S	90.0	169.2	214.5	3.0	56.3	979	91	0.88	75.0	145.6	179.4	983	65.0	129.1	151.0	986
315M	110.0	203.5	224.5	3.0	57.8	979	91	0.89	92.0	174.7	187.1	983	80.0	157.0	161.0	986

（续）

工作方式	S2								S3							
									6 次/h							
负载持续率	30min				60min				15%				25%			
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
750r/min																
160L	8.5	23.3	29.5	705	7.5	21.8	25.2	711	11.0	29.3	40.2	687	8.5	23.3	29.5	705
180L	13.0	32.5	53.8	709	11.0	27.8	43.6	712	15.0	36.9	63.8	693	13.0	32.5	53.8	709
200L	17.0	41.8	68.0	725	15.0	34.3	58.2	719	22.0	49.7	91.5	698	17.0	41.8	68	725
225M	26.0	58.7	78.1	714	22.0	49.7	62.5	721	30.0	66.9	89.7	707	26.0	58.7	78.1	714
250M1	36.0	78.4	86.2	720	30.0	66.5	71.5	725	42.0	90.4	106.5	707	36.0	78.4	86.2	720
250M2	42.0	89.4	86.5	723	37.0	79.7	73.8	726	52.0	109.3	109.4	714	42.0	89.4	86.5	723
280S1	52.0	110.8	104.2	725	45.0	96.2	86.7	729	60.0	126.2	119.2	720	52.0	110.8	104.2	725
280M	63.0	132.7	118.2	728	55.0	120.3	101.7	731	75.0	156.0	143.6	723	63.0	132.7	118.2	728
315S1	70.0	139.0	178.0	728	63.0	128.1	160.3	731	84.0	166.7	219.6	723	70.0	139.0	178	728
315S2	85.0	170.8	190.5	729	75.0	152.4	164.2	731	100	200.0	226.0	723	85.0	170.8	190.5	729
315M1	100	200.9	192.5	730	90.0	182.2	171.5	731	125	245.3	243.2	724	100	200.9	192.5	730
355M2	125	254.0	285.7	732	110	226.4	246.7	735	155	311.0	360.3	727	125	254.0	285.7	732
355L1	150	304.6	296.5	732	132	265.2	259.4	735	190	377.0	385.9	727	150	304.6	296.5	732
355L2	185	363.2	310.5	733	160	321.5	321.5	736	225	441.0	392.1	729	185	363.2	310.5	733
400L1	230	441.0	372.0	738	200	388.5	319.4	740	280	537.4	462.4	735	230	441.0	372	738
400L2	300	569.5	405.6	738	250	480	333.8	740	350	664.3	478.1	735	300	569.5	405.6	738
600r/min																
280S	42.0	93.9	180.1	576	37.0	84.8	155.0	579	55.0	121.3	246.5	565	42.0	93.9	180.1	576
280M	52.0	119.3	205.9	579	45.0	106.2	172.8	583	63.0	137.4	251.9	575	52.0	119.3	205.9	579
315S1	63.0	134.2	179.5	578	55.0	120.2	155.4	583	75.0	157.8	219	576	63.0	134.2	179.5	578
315S2	70.0	148.3	179.7	581	63.0	136.1	162.2	584	84.0	176.7	220.9	577	70.0	148.3	179.7	581
315M	85.0	178.9	194.5	580	75.0	158.0	169.7	584	100	207.9	234.2	576	85.0	178.9	194.5	580
355M	100	203.3	194.5	585	90.0	187.5	175.7	588	132	265	263.1	581	100	203.3	194.5	585
355L1	125	251.2	208.8	586	110	226.4	183.6	588	160	321.0	269.9	582	125	251.2	208.8	586
355L2	150	301.4	210.2	587	132	268.7	202.0	589	185	359.1	259.9	584	150	301.4	210.2	587
400L1	185	385.3	285.2	591	160	342.4	246.5	593	236	474.7	371.6	589	185	385.3	285.2	591
400L2	230	462.7	314.5	591	200	417.4	269.4	592	270	536.6	370.1	589	230	462.7	314.5	591

（续）

工作方式	S3 6次/h															
负载持续率	40%								60%				100%			
项目 机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	最大转矩/倍	空载电流A	n/(r/min)	效率(%)	功率因数 $\cos\phi$	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)
750r/min																
160L	7.5	21.8	25.2	2.8	13.4	711	79	0.66	6.3	19.2	21.5	718	5.5	17.5	16.9	724
180L	11.0	27.8	43.6	2.5	14.9	712	81	0.74	9.5	25.4	36.4	718	8.0	23.0	31.2	723
200L	15.0	34.3	58.2	2.8	16.3	719	84	0.79	13.0	30.5	49.6	724	11.0	27.3	42.7	727
225M	22.0	49.7	62.5	2.8	23.5	721	85	0.79	19.0	45.3	52.4	725	16.0	39.8	44.6	729
250M1	30.0	66.5	71.5	3.0	32.5	725	86	0.79	26.0	59.7	62.5	729	22.0	53.3	51.9	732
250M2	37.0	79.7	73.8	3.0	34.5	726	87	0.81	32.0	69.0	62.5	730	27.0	62.1	53.5	733
280S1	45.0	96.2	86.7	3.0	45.1	729	89	0.79	39.0	87.6	74.7	732	33.0	78.2	63.9	733
280M	55.0	120.3	101.7	3.0	56.8	731	89	0.78	47.0	105.4	85.6	734	40.0	95.1	75.7	736
315S1	63.0	128.1	160.3	3.0	52.5	731	90	0.83	53.0	111.8	131.7	734	46.0	98.4	115.5	736
315S2	75.0	152.4	164.2	3.0	63.5	731	90	0.82	63.0	133.1	139.0	735	55.0	120.8	123.4	737
315M1	90.0	182.2	171.5	3.0	75.7	731	90	0.82	75.0	156.0	140.6	736	65.0	140.3	121.0	738
355M2	110.0	226.4	246.7	3.0	95.5	735	90	0.82	92.0	194.2	205.6	737	80.0	177.0	182.7	739
355L1	132.0	265.2	259.4	3.0	107.2	735	90	0.84	110.0	232.4	211.3	737	95.0	208.2	186.0	739
355L2	160.0	321.5	321.5	3.0	126.2	736	90	0.84	132.0	278.2	219.5	738	115.0	246.0	196.4	740
400L1	200.0	388.5	319.4	3.0	138.1	740	92	0.85	170.0	334.6	270.5	741	145.0	296.0	230.5	742
400L2	250.0	480	333.8	3.0	163.5	740	92	0.86	210.0	408.4	281.6	741	180.0	363.0	241.8	743
600r/min																
280S	37.0	84.8	155.0	2.8	42.5	579	86	0.77	32.0	76.5	135.1	582	27.0	69.3	113.8	585
280M	45.0	106.2	172.8	3.0	58.5	583	87	0.74	39.0	96.1	151.3	585	33.0	87.6	128.6	587
315S1	55.0	120.2	155.4	3.0	55.4	583	88	0.79	47.0	105.3	133.5	586	40.0	93.5	112.1	588
315S2	63.0	136.1	162.2	3.0	62.5	584	89	0.79	53.0	120.3	134.2	586	46.0	109	116.8	588
315M	75.0	158.0	169.7	2.8	67.2	584	89	0.81	63.0	136.1	142.0	586	55.0	123.6	122.5	588
355M	90.0	187.5	175.7	3.0	84.4	588	90	0.81	75.0	164.4	145.3	590	65.0	150.3	124.3	591
355L1	110.0	226.4	183.6	3.0	97.8	588	90	0.82	92.0	199.1	150.9	590	80.0	181.0	132.4	592
355L2	132.0	268.7	202.0	3.0	118.3	589	91	0.82	110.0	235.4	151.0	591	95.0	213.8	130.9	592
400L1	160.0	342.4	246.5	3.0	158.3	593	91	0.78	132.0	297.2	203.6	594	115.0	269.5	177.5	595
400L2	200.0	417.4	269.4	2.8	167.5	592	91	0.8	170.0	358.3	227.5	594	145.0	319.2	194.2	594

（续）

工作方式	S4 及 S5											
	150 次/h											
负载持续率	25%				40%				60%			
项目 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
	1500r/min											
112M1	3.0	7.6	20.3	1385	2.8	7.17	19.1	1392	2.2	6.2	14.9	1419
112M2	3.7	9.0	18.6	1399	3.5	8.6	17.6	1406	2.8	7.2	13.6	1427
132M1	5.8	13.7	27.3	1402	5.0	11.02	23.5	1419	4.8	10.7	22.5	1423
132M2	6.6	14.5	27.8	1405	5.7	12.8	23.5	1420	5.4	12.3	22.7	1425
160M1	7.5	16.3	26.1	1410	7.0	15.4	27.3	1424	6.0	13.7	24.0	1436
160M2	10.0	21.5	36.9	1436	9.0	19.6	33.5	1444	8.0	18.1	29.3	1450
160L	14.0	29.8	38.0	1443	13.0	27.7	35.2	1447	11.0	24.6	28.3	1456
180L	20.0	41.5	50.4	1446	18.0	38.1	44.4	1451	17.0	36.2	41.9	1435
200L	28.0	55.5	69.6	1458	25.0	50.0	60.0	1463	22.0	44.2	52.0	1468
225M	34.0	67.5	70.0	1467	33.0	66.2	69.9	1468.2	30.0	61.0	63.0	1471
250M1	42.0	79.6	150.1	1462	37.0	71.0	132.7	1467	36.0	67.9	125.0	1470
250M2	55.0	104.3	154.1	1465	47.0	89.1	133.7	1465	42.0	80.5	118.4	1474
280S1	63.0	116.0	165.5	1468	60.0	112.5	160.3	1469	55.0	102.0	146.8	1472
280S2	75.0	139.1	203.6	1468	70.0	128.0	193.0	1470	65.0	121.0	179.5	1472
280M	85.0	155.9	176.2	1470	80.0	146.8	165.0	1472	75.0	139.0	155.0	1474
315S	102.0	155.1	229.2	1465	90.0	165.0	203.0	1470	80.0	145.0	182.0	1473
315M	125.0	226.0	213.4	1474	120.0	220.0	200.0	1475	115	217.0	190.0	1476

（续）

工作方式	S4 及 S5												转子电压 /V	转动惯量 J_m /(kg·m²)	重量 /kg
	300 次/h								600 次/h						
负载持续率	40%				60%				60%						
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)			
1500r/min															
112M1	2.2	6.2	14.9	1419	2.0	5.9	13.3	1426	1.8	5.6	13.7	1433	110.0	0.042	66
112M2	3.3	8.1	16.3	1412	2.8	7.29	13.6	1427	2.3	6.6	12.0	1440	145.0	0.047	69
132M1	4.8	10.7	22.5	1423	4.5	10.1	21.4	1478	3.8	8.9	17.8	1440	140.0	0.064	84
132M2	5.4	12.3	22.7	1425	5.1	11.7	21.3	1430	4.3	10.4	18.0	1441	170.0	0.064	88
160M1	6.0	13.7	24.0	1436	5.5	12.7	20.9	1442	4.0	10.5	15.0	1458	180.0	0.12	152
160M2	8.0	18.1	29.3	1450	7.0	16.3	25.6	1457	5.9	14.9	21.7	1464	180.0	0.14	158
160L	11.0	24.6	28.5	1456	10.0	22.7	26.0	1460	9.0	21.2	23.7	1464	260.0	0.18	190
180L	17.0	36.2	41.9	1455	15.0	33.5	38.0	1460	11.0	27.4	26.2	1471	270.0	0.3	241
200L	22.0	44.2	52.0	1468	20.0	41.6	50.2	1471	15.0	33.7	42.0	1478	270.0	0.54	302
225M	28.0	57.5	58.6	1473	26.0	54.1	55.5	1475	20.0	45.0	96.9	1481	325.0	0.64	337
250M1	33.0	62.3	118.3	1471	33.0	63.3	118.3	1471	27.0	53.6	100.0	1476	185.0	1.08	424
250M2	42.0	80.5	118.4	1474	40.0	77.6	115.8	1475	35.0	69.5	118.2	1478	230.0	1.22	519
280S1	50.0	73.8	134.4	1475	45.0	86.4	118.3	1477	40.0	77.2	136.4	1477	230.0	2.23	755
280S2	55.0	103.2	149.9	1479	50.0	94.9	136.4	1479	45.0	86.4	126.8	1479	240.0	2.38	785
280M	70.0	129.8	145.1	1476	65.0	122.0	135.9	1478	60.0	113.8	126.0	1479	310.0	2.53	860
315S	75.0	134.0	168.7	1473	68.0	124.7	154.0	1477	65.0	123.5	125.0	1482	290.0	4.87	1100
315M	105.0	190.0	175.7	1478	100.0	179.5	168.4	1479	90.0	163.0	149.8	1482	375.0	5.66	1193

（续）

工作方式	S4 及 S5											
	150 次/h											
负载持续率	25%				40%				60%			
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
1000r/min												
112M1	1.6	4.69	12.8	891	1.3	4.15	9.9	915	1.0	3.7	7.6	934
112M2	2.2	6.3	12.8	905	2.0	5.9	11.5	915	1.7	5.5	9.5	928
132M1	3.0	8.2	19.1	926	2.8	7.9	18.3	932	2.2	6.8	13.8	947
132M2	3.7	9.6	14.1	920	3.5	9.2	13.4	926	2.8	7.8	10.4	942
160M1	5.8	14.1	31.2	935	5.0	12.6	25.9	946	4.8	12.3	24.9	949
160M2	7.5	17.3	28.4	945	7.0	16.6	26.2	949	6.0	14.6	22.1	957
160L	11.0	25.8	30.2	954	10.0	24.8	27.5	959	8.0	20.6	21.8	968
180L	15.0	33.08	47.9	956	13.0	29.3	41.2	962	12.0	27.4	37.8	960
200L	21.0	43.1	73.0	965	18.5	38.0	64.0	970	17.0	35.7	57.1	972
225M	28.0	57.5	74.3	973	25.0	52.6	66.2	976	22.0	48.0	58.3	978
250M1	33.0	64.7	87.5	971	30.0	659.5	79.2	974	28.0	56.2	72.8	976
250M2	42.0	83.3	95.9	977	37.0	75.1	84.3	979	33.0	68.7	75.2	981
280S1	52.0	103.2	119.2	973	45.0	92.6	101.0	978	42.0	87.5	95.1	980
280S2	59.0	121.4	124.6	978	51.0	107.8	109.0	981	48.0	102.7	100.9	983
280M	70.0	134.0	139.8	977	62.0	121.7	123.6	980	55.0	110.6	109.7	982
315S	84.0	161.2	203.3	980	74.0	143.6	177.0	983	66.0	129.7	156.8	985
315M	102.0	191.3	210.7	980	90.0	168.9	188.0	983	80.0	153.6	165.4	985

（续）

工作方式	S4及S5												转子电压/V	转动惯量 J_m /(kg·m²)	重量/kg
	300次/h								600次/h						
负载持续率	40%				60%				60%						
项目 / 机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)			
1000r/min															
112M1	1.2	3.9	9.1	921	0.9	3.58	6.77	940	0.7	3.4	5.5	951	100.0	0.042	66
112M2	1.8	5.6	10.4	924	1.6	5.29	8.99	933	1.3	4.9	7.7	943	132.0	0.047	69
132M1	2.2	6.8	13.8	947	2.1	7.0	15.1	945	1.8	6.3	12.8	956	110.0	0.093	84
132M2	3.3	8.9	12.5	931	2.8	7.8	10.4	942	2.7	7.02	8.5	953	185.0	0.099	93
160M1	4.8	12.3	24.9	949	4.5	11.8	23.5	952	3.8	10.5	10.5	960	138.0	0.161	148
160M2	6.0	14.6	22.1	957	5.5	13.9	20.7	961	4.0	11.4	14.3	972	185.0	0.16	158
160L	8.0	20.6	21.8	968	7.5	20.2	20.5	970	5.9	18.0	16.2	976	250.0	0.23	192
180L	12.0	27.4	37.8	966	11.0	24.8	34.2	969	9.0	22.6	28.3	975	218.0	0.4	247
200L	17.0	35.7	57.1	972	15.0	32.3	51.2	976	11.0	26.0	37.2	982	200.0	0.78	308
225M	22.0	48.1	58.3	978	20.0	45.4	53.1	981	15.0	37.53	39.9	986	250.0	0.93	347
250M1	26.0	52.8	68.8	979	25.0	57.4	65.8	979	17.5	38.8	46.4	985	250.0	1.5	481
250M2	31.0	66.1	71.7	981	30.0	51.3	70.4	984	24.0	55.3	55.1	987	290.0	1.71	577
280S1	40.0	84.4	90.7	980	37.0	64.8	83.9	982	30.0	69.3	69.3	986	280.0	2.57	751
280S2	45.0	98.8	93.8	983	42.0	80.0	86.8	985	34.0	83.1	70.9	988	300.0	2.77	775
280M	52.0	168.0	108.8	983	47.0	98.0	96.0	985	37.0	83.4	74.8	988	370.0	3.16	865
315S	62.0	123.3	147.3	986	56.0	114.1	134.2	987	44.0	96.8	106.3	990	255.0	6.11	1061
315M	75.0	144.0	164.4	985	68.0	133.6	140.1	987.1	53.0	110.8	110.0	990	300.0	7.1	1102

（续）

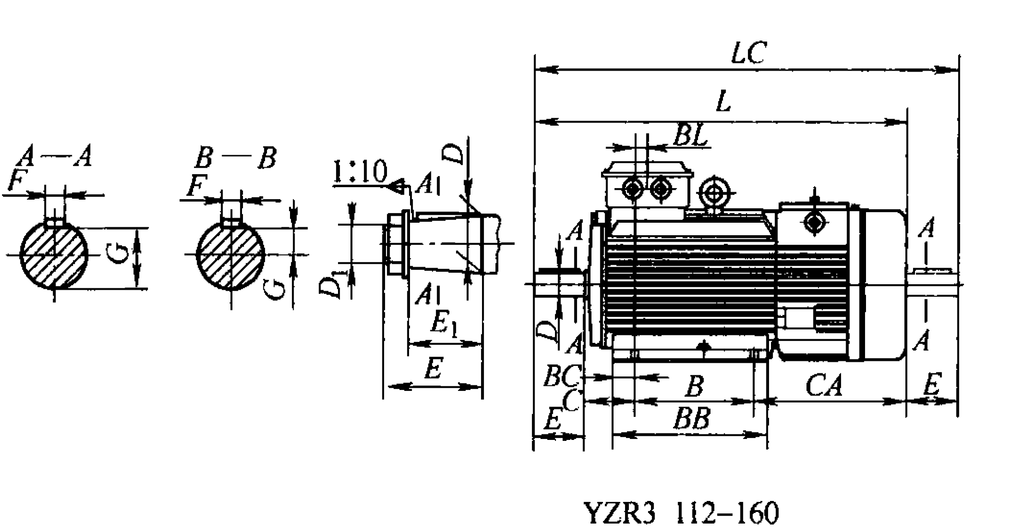
工作方式	S4 及 S5											
	150 次/h											
负载持续率	25%				40%				60%			
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
750r/min												
160L	7.5	21.8	25.2	711	7.0	20.7	24.1	714	5.8	18.6	19.5	721
180L	11.0	27.8	43.6	712	10.0	26.0	30.5	716	8.0	22.4	31.0	723
200L	15.0	34.3	58.2	719	13.0	30.5	50.9	723	12.0	28.9	46.4	724
225M	21.0	48.1	60.3	722	18.5	43.5	52.0	726	17.0	41.7	47.6	728
250M1	29.0	65.6	70.9	726	25.0	58.2	60.0	730	22.0	53.3	51.9	732
250M2	33.0	72.9	66.6	729	30.0	67.2	60.5	731	28.0	62.9	54.5	732
280S	42.0	91.9	82.6	730	37.0	84.2	73.7	732	33.0	78.4	65.8	735
280M	52.0	114.0	98.0	732	45.0	102.6	84.9	735	42.0	98.4	79.3	736
315S1	59.0	122.2	150.8	732	50.0	105.6	126.6	735	48.0	102.7	121.2	736
315S2	64.0	133.5	143.3	734	60.0	128.0	132.0	735	56.0	121.4	12.6	736
315M1	74.0	156.0	140.6	736	71.0	151.9	135.9	436	65.0	140.3	121.0	738
355M2	100.0	208.4	226.7	736	95.0	200.4	214.5	737	82.0	179.8	185.1	739
355L1	115.0	239.6	227.3	737	106.0	223.0	210.5	738	98.0	212.0	195.8	739
355L2	140.0	255.0	206.2	739	125.0	267.0	214.0	739	120.0	253.6	204.5	739
400L1	195.0	378.0	317.2	740	180.0	353.8	287.7	741	170.0	334.0	275.5	737
400L2	240.0	461.0	325.1	740	220.0	432.0	297.0	741	205.0	407.0	274.9	742
600r/min												
280S	33.0	77.8	138.4	581	30.0	73.7	124.5	583	28.0	70.86	118.0	584
280M	42.0	100.7	163.7	584	37.0	93.9	144.0	587	33.0	87.6	128.6	587
315S1	50.0	110.8	141.7	585	45.0	101.1	126.3	587	42.0	96.8	117.7	588
315S2	54.0	121.2	138.3	586	50.0	115.3	128.0	587	46.0	109.1	116.9	588
315M1	65.0	140.6	146.6	586	60.0	133.0	136.0	587	55.0	123.8	124.7	588
355M2	80.0	170.9	155.0	589	72.0	159.9	139.5	590	65.0	146.6	126.1	591
355L1	100.0	211.2	165.6	589	90.0	192.6	147.9	590	80.0	178.0	132.0	591
355L2	120.0	250.4	165.8	590	110.0	235.4	151.0	591	95.0	214.3	130.6	592
400L1	145.0	315.0	216.1	593	132.0	294.6	205.0	594	120.0	275.2	185.7	595
400L2	185.0	381.9	248.5	593	165.0	349.3	221.2	594	150.0	325.8	201	594

（续）

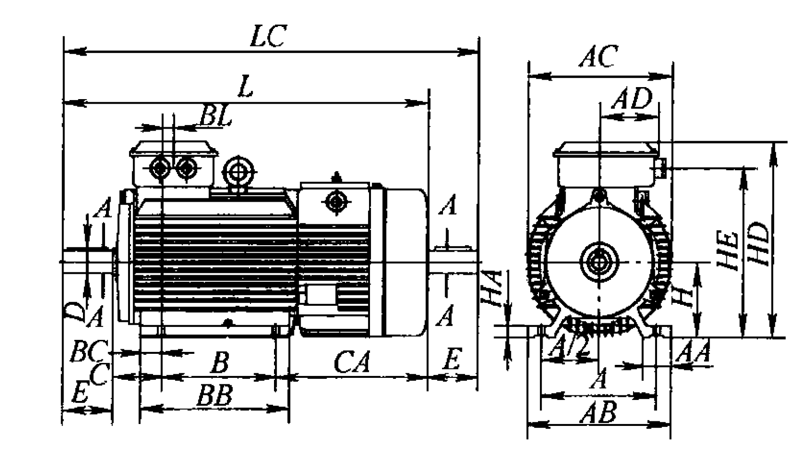
工作方式	S4 及 S5												转子电压 /V	转动惯量 J_m /(kg·m²)	重量 /kg
	300 次/h								600 次/h						
负载持续率	40%				60%				60%						
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)			
750r/min															
160L	6.0	18.9	19.9	719	5.5	18.3	18.6	722	3.8	16.4	13.1	730	205.0	0.23	191
180L	8.0	22.4	31.0	723	7.0	21.7	29.2	725	5.8	19.3	22.3	730	172.0	0.39	246
200L	12.0	28.9	46.4	724	11.0	27.3	42.7	727	8.0	23.1	31.2	734	178.0	0.78	305
225M	17.0	41.7	47.6	728	15.0	37.8	41.7	733	11.0	22.9	31.0	736	232.0	0.93	342
250M1	22.0	53.3	51.9	732	20.0	51.3	48.2	754	15.0	45.1	36.7	738	272.0	1.5	481
250M2	26.0	69.8	50.6	734	25.0	59.9	49.6	735	18.5	50.7	37.2	738	290.0	1.71	577
280S	33.0	78.4	65.8	735	30.0	73.4	59.2	736	24.0	66.1	48.0	738.9	325.0	2.77	771
280M	42.0	98.4	79.3	736	27.0	90.5	69.2	737	30.0	81.6	36.7	739.5	340.0	3.16	862
315S1	48.0	102.7	121.32	736	42.0	93.5	107.5	738	34.0	91.9	85.8	740	250.0	6.11	1023
315S2	52.0	115.7	116.0	737	48.0	109.7	108.2	739	38.0	96.1	84.8	735	302.0	6.5	1073
315M1	60.0	135.3	115.4	739	55.0	125.7	106.2	740	41.0	108.0	78.7	742	360.0	7.1	1108
355M2	78.0	175.5	175.2	739	70.0	162	158.6	740	60.0	146.0	135.0	742	285.0	12.2	1465
355L1	95.0	208.0	188.0	739	85.0	193.9	168.8	740	70.0	171.0	139.1	741	325.0	15.7	1590
355L2	110.0	238.0	185.9	740	100.0	225.6	171.5	736	90.0	213.0	156.3	742	380.0	17.4	1665
400L1	150.0	302.0	241.5	742	135.0	279	217.7	743	130.0	127.2	210.9	743	390.0	26.6	2260
400L2	195.0	382.0	259.6	742	180.0	367	240.8	743	170.0	350.0	230.6	743	480.0	30.1	2360
600r/min															
280S	26.0	67.7	109.6	586	25.0	65.1	104.4	586	17.0	54.9	71.9	590	155.0	3.52	781
280M	31.0	86.3	121.9	588	28.0	80.5	108.6	589	22.0	73.8	85.2	591	160.0	4.1	855
315S1	40.0	93.5	112.1	589	37.0	90.5	103.7	589	30.0	80.0	85.4	591	245.0	7.7	1028
315S2	42.0	102.4	106.8	589	40.0	100.4	101.8	589	31.0	88.2	78.7	592	245.0	8.2	1043
315M1	50.0	115.6	112.5	592	48.0	113.3	106	589	37.0	99.1	83.9	592	320.0	9.08	1117
355M2	60.0	141.1	116.6	592	55.0	129.3	107.2	592	41.0	117.3	81.3	595	320.0	18.0	1440
355L1	75.0	171.5	124.4	593	70.0	164.6	116.3	592	50.0	138.3	84.5	595	388.0	18.0	1580
355L2	90.0	203.1	124.9	595	80.0	190.8	109.5	594	60.0	166.9	84.3	595	460.0	18.2	1650
400L1	110.0	259.5	170.5	595	96.0	243.9	149.5	595	75.0	213.5	116.4	597	395.0	26.2	2260
400L2	140.0	312.4	187.6	595	120.0	283.1	161.1	595	95.0	249.0	129.5	596	460.0	29.8	2360

三、YZR3 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 A-3、附表 A-4、附表 A-5）

附表 A-3　YZR3 系列电动机 IM1001、IM1002、IM1003、IM1004 外形及安装尺寸　（mm）



YZR3 112–160



YZR3 112–160

（续）

机座号	安装尺寸及公差																				
	A	$A/2$①	B	C②		CA	D③		D_1	E		E_1		F		G		H		K	
112M	190	95	140	70	±2	300	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.20	112	0 −0.5	12	+0.43 0
132M	216	108	178	89			38									33		132			
160M	254	127	210	108	±3	330	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		160		14.5	+0.52 0
160L			254																		
180L	279	139.5	279	121		360	55	+0.046 0	M36×3			82	0 −0.540			19.9		180			
200L	318	159	305	133		400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		200		18.5	
225M	356	178	311	149	±4	450	65									23.9		225			
250M	406	203	349	168		540	70		M48×3					18		25.4		250		24	
280S	457	228.5	368	190			85	+0.054 0	M56×3	170		130	0 −0.630	20	0 −0.052	31.7		280	0 −1.0		
280M			419																		
315S	508	254	406	216		600	95		M64×4					22		35.2		315		28	
315M			457																		
355M	610	305	560	254		630	110		M80×4	210	±0.58	165		25		41.9		355			
355L			630																		
400L	686	343	710	280			130	+0.063 0	M100×4	250		200	0 −0.720	28		50		400		35	+0.62 0

（续）

机座号	外形尺寸												
	螺栓直径	*AA*	*AB*	*AC*	*AD*	*BC*	*BB*	*BL*	*HA*	*HD*	*HE*	*L*	*LC*
112M	M10	50	250	235	160	20	225	40	20	315	275	590	670
132M		50	275	285		28	240	14	22	355	312	647	727
160M	M12	60	320	320	200	47	290	33	25	425	366	758	868
160L							330					802	912
180L		72	360	360		28	380	40		470	420	870	980
200L	M16	90	406	406	245	31	390	49	28	520	467	978	1118
225M		90	455	425		30	410	40		560	500	1050	1190
250M	M20	100	515	470	315	43	500	32	30	625	561	1195	1337
280S		100	575	530		58	520	55	32	735	650	1265	1438
280M							570					1315	1489
315S	M24	130	640	620	370	43	550	34	35	835	710	1385	1562
315M							600					1443	1613
355M		140	740	695	440	42	710	46	38	990	825	1654	1864
355L							780					1724	1934
400L	M30	160	855	800		85	880	45	45	1090	920	1870	2120

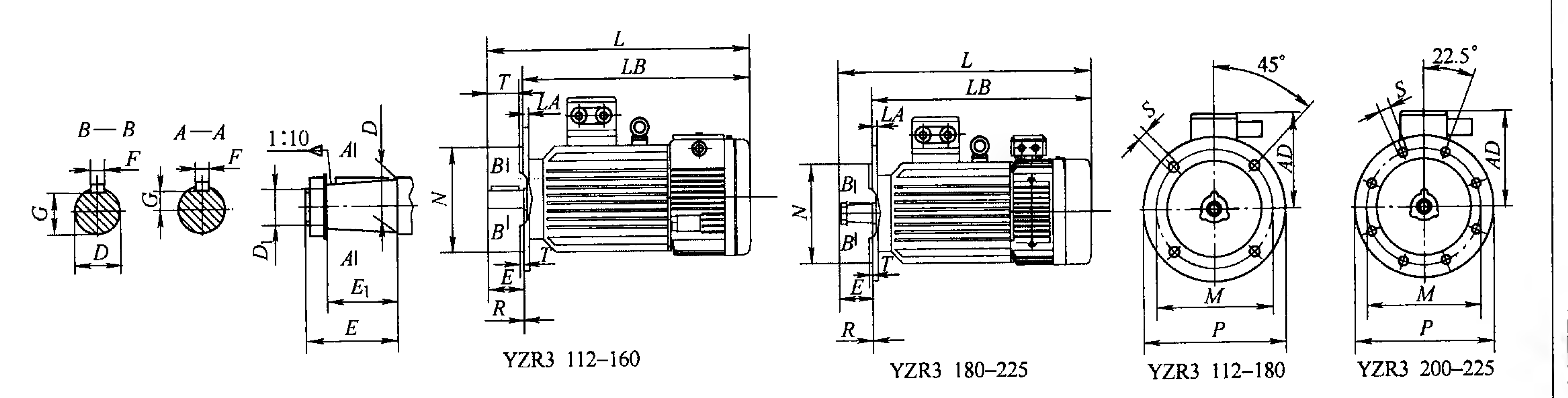
① 如 *K* 孔的位置度合格，则 *A*/2 可不考核。

② *C* 尺寸的极限偏差包括轴的窜动。

③ 圆锥形轴伸按 GB/T 1570 规定检查。

附表 A-4　YZR 系列电动机 IM3001 及 IM3003 外形及安装尺寸

（mm）



机座号	凸缘号	D①		D_1	E		E_1		F		G		M	N		P②	R③		S		螺栓直径	T 最大	孔数（个）	AD	LA	LB	L
																								外形尺寸			
112M	F21F5	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 -0.036	27	0 -0.20	215	180	+0.014 -0.011	250	0	±2.0	15	±0.43	M12	4	4	203	14	510	590
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 -0.013	300								218		567	647
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 -0.043	42.5		300	250		350		±3.0	19	±0.52	M16	5		265	18	648	758
160L																										692	802
180L		55	+0.046 0	M36×2			82	0 -0.054			19.9													285		760	870
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	±0.018	450		±4.0					8	317	20	838	978
225M		65									23.9													335		910	1050

① 圆锥形轴伸按 GB/T 1570 的规定检查。

② P 尺寸为最大极限尺寸。

③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的窜动。

附表 A-5　YZR3 系列电动机 IM3011 及 IM3013 外形及安装尺寸　　(mm)

YZR3 112–160　　YZR3 180–315　　YZR3 112–180　　YZR3 200–315

机座号	安装尺寸及公差																							外形尺寸			
	凸缘号	D①		D_1	E		E_1		F		G		M	N		P②	R③		S		螺栓直径	T最大	孔数(个)	AD	L	LA	LB
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 -0.36	27	0 -0.2	215	180	+0.014 -0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	M12	4	4	203	630	14	550
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 -0.013	300								218	687		607
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 -0.043	42.5		300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	M16	5		265	808	18	698
160L																									852		742
180L		55	+0.046 0	M36×3			82	0 -0.54			19.9													285	920		810
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	±0.018	450		±4.0					8	317	1028	20	888
225M		65									23.9													335	1100		960
250M	FF500	70		M48×3					18		25.4		500	450	±0.020	550								375	1257	22	1117
280S		85	+0.054 0	M56×4	170		130	0 -0.63	20	0 -0.052	31.7													455	1328		1158
280M																									1379		1209
315S	FF600	95		M64×4					22		35.2		600	550	±0.022	660			24		M20	6		520	1452	25	1282
315M																									1503		1333

① 圆锥形轴伸按 GB/T 1570 的规定检查。

② P 尺寸为最大极限尺寸。

③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的窜动。

附录B　YZ及YZR系列电动机技术数据

一、YZ系列电动机型谱（见附表B-1）

附表B-1　YZ系列电动机型谱

工作方式	S2				S3　6次/h									
负载持续率	30min		60min		15%		25%		40%		60%		100%	
功率/kW　转速 型号	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750	1000	750
YZ 112M	1.8		1.5		2.2		1.8		1.5		1.1		0.8	
YZ 132M1	2.5		2.2		3		2.5		2.2		1.8		1.5	
YZ 132M2	4		3.7		5		4		3.7		3		2.5	
YZ 160M1	6.3		5.5		7.5		6.3		5.5		5		4	
YZ 160M2	8.5		7.5		11		8.5		7.5		6.3		5.5	
YZ 160L	15	9		7.5	15	11		9	11	7.5	9	6	7.5	5
YZ 180L		13		11		15		13		11	13		11	7.5
YZ 200L		18.5		15		22		18.5		15	19		17	11
YZ 225M		26		22		33		26		22	26		22	17
YZ 250M1		35		30		42		35		30	32		28	22

二、YZR 系列电动机型谱（见附表 B-2）

附表 B-2 YZR 系列电动机型谱

工作方式	S2						S3 6 次/h														
负载持续率	30min			60min			15%			25%			40%			60%			100%		
功率/kW 转速 型号	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600
YZR 112M	1. 8			1. 5			2. 2			1. 8			1. 5			1. 1			0. 8		
YZR 132M1	2. 5			2. 2			3			2. 5			2. 2			1. 8			1. 5		
YZR 132M2	4			3. 7			5			4			3. 7			3			2. 5		
YZR 160M1	6. 3			5. 5			7. 5			6. 3			5. 5			5			4		
YZR 160M2	8. 5			7. 5			11			8. 5			7. 5			6. 3			5. 5		
YZR 160L	13	9		11	7. 5		15	11		13	9		11	7. 5		9	6		7. 5	5	
YZR 180L	17	13		15	11		20	15		17	13		15	11		13	9		11	7. 5	
YZR 200L	26	18. 5		22	15		33	22		26	18. 5		22	15		19	13		17	11	
YZR 225M	34	26		30	22		40	33		34	26		30	22		26	18. 5		22	17	
YZR 250M1	42	35		37	30		50	42		42	35		37	30		32	26		28	22	
YZR 250M2	52	42		45	37		63	52		52	42		45	37		39	32		33	27	
YZR 280S	63	52	42	55	45	37	75	60	55	63	52	42	55	45	37	48	38	32	40	34	27
YZR 280M	85	63	55	75	55	45	100	75	63	85	63	55	75	55	45	63	48	37	50	40	33
YZR 315S		85	63		75	55		100	75		85	63		75	55		63	48		55	40
YZR 315M		100	85		90	75		125	100		100	85		90	75		75	55		63	50
YZR 355M			110			90			132			110			90			75			63
YZR 355L1			132			110			160			132			110			90			75
YZR 355L2			150			132			185			150			132			110			90
YZR 400L1			190			160			236			190			160			135			110
YZR 400L2			240			200			270			240			200			177			145

（续）

工作方式	S4 及 S5																	
	150 次/h									300 次/h						600 次/h		
负载持续率	25%			40%			60%			40%			60%			60%		
功率/kW 转速 型号	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600	1000	750	600
YZR 112M	1.6			1.3			1			1.2			0.9			0.7		
YZR 132M1	2.2			2			1.7			1.8			1.6			1.35		
YZR 132M2	3.7			3.5			2.8			3.3			2.8			2.3		
YZR 160M1	5.8			5			4.8			4.8			4.5			3.8		
YZR 160M2	7.5			7			6			6			5.5			4		
YZR 160L	11	7.5		10	7		8	5.8		8	6		7.5	5.5		5.6	3.8	
YZR 180L	15	11		13	10		12	8		12	8		11	7.5		9	5.8	
YZR 200L	21	15		18.5	13		17	12		17	12		15	11		11	8	
YZR 225M	28	21		25	18.5		22	17		22	17		20	15		15	11	
YZR 250M1	33	29		30	25		28	22		26	22		25	20		17.5	15	
YZR 250M2	42	33		37	30		33	28		31	26		30	25		24	18.5	
YZR 280S	52	42	33	45	37	30	42	33	28	40	31	26	37	30	25	30	24	17
YZR 280M	70	52	42	62	45	37	55	42	33	52	42	31	47	37	28	37	30	22
YZR 315S		64	50		60	45		56	42		52	40		48	37		35	30
YZR 315M		75	65		72	60		65	55		60	50		55	48		41	37
YZR 355M			80			72			65			60			55			41
YZR 355L1			100			90			80			75			70			50
YZR 355L2			120			110			95			90			80			60
YZR 400L1			145			132			120			110			96			75
YZR 400L2			185			165			150			140			120			95

三、YZ 系列电动机技术数据（见附表 B-3）

附表 B-3 YZ 系列电动机技术数据

工作方式	S2						S3 6次/h																						
负载持续率	30min			60min			15%			25%			40%								60%			100%			转动惯量 J_m /(kg·m²)	重量 /kg
项目 / 机座号	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)	最大转矩/额定转矩	起动转矩/额定转矩	起动电流/额定电流	效率 (%)	功率因数 cosφ	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)	额定功率 /kW	额定电流 /A	转速 /(r/min)		
1000r/min																												
112M	1.8	4.9	892	1.5	4.25	920	2.2	6.5	810	1.8	4.9	892	1.5	4.25	920	2.7	2.44	4.47	69.5	0.765	1.1	2.7	946	0.8	3.5	980	0.02	58
132M1	2.5	6.5	920	2.2	5.9	935	3.0	7.5	804	2.5	6.5	920	2.2	5.9	935	2.9	3.1	5.16	74	0.745	1.8	5.3	950	1.5	4.9	960	0.053	80
132M2	4.0	9.2	915	3.7	8.8	912	5.0	11.6	890	4	9.2	915	3.7	8.8	912	2.8	3.0	5.54	79	0.79	3.0	7.5	940	2.8	7.2	945	0.058	91.5
160M1	6.3	14.1	922	5.5	12.5	933	7.5	16.8	903	6.3	14.1	922	5.5	12.5	933	2.7	2.5	4.9	80.6	0.83	5.0	11.5	940	4.0	10	953	0.105	118.5
160M2	8.5	18	943	7.5	15.9	948	11	25.4	926	8.5	18	943	7.5	15.9	948	2.9	2.4	5.52	83	0.84	6.3	14.2	956	5.5	13	961	0.133	131.5
160L	15	32	920	11	24.6	953	15	32	920	13	28.7	936	11	24.6	953	2.9	2.7	6.17	84	0.85	9	20.6	964	7.5	18.8	972	0.178	152
750r/min																												
160L	9	21.1	694	7.5	18	705	11	27.4	675	9	21.1	694	7.5	18	705	2.7	2.5	5.1	82	0.74	6	15.6	717	5	14.2	724	0.178	152
180L	13	30	675	11	25.8	694	15	35.3	654	13	30	675	11	25.8	694	2.5	2.6	4.9	80.9	0.811	9	21.5	710	7.5	19.2	718	0.33	205
200L	18.5	40	697	15	33.1	710	22	47.5	686	18.5	40	697	15	33.1	710	2.8	2.7	6.1	85	0.8	13	28.1	714	11	26	720	0.58	276
225M	26	53.5	701	22	45.8	712	33	69	687	26	53.5	701	22	45.8	712	2.9	2.9	6.2	84	0.83	18.5	40	718	17	37.5	720	0.75	347
250M1	35	74	681	30	63.3	694	42	89	663	35	74	681	30	63.3	694	2.54	2.7	5.47	85	0.84	26	56	702	22	45	717	1.33	462

四、YZR 系列电动机技术数据（见附表 B-4）

附表 B-4　YZR 系列电动机技术数据

工作方式	S2								S3 6次/h							
负载持续率	30min				60min				15%				25%			
项目/机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)
1000r/min																
112M	1.8	5.3	13.4	815	1.5	4.63	12.5	866	2.2	6.6	18.4	725	1.8	5.3	13.4	815
132M1	2.5	6.5	12.9	892	2.2	6.05	12.6	908	3.0	8	16.1	855	2.5	6.5	12.9	892
132M2	4.0	9.7	14.2	900	3.7	9.2	14.5	908	5	12.3	18.2	875	4	9.7	14.2	900
160M1	6.3	16.4	29.4	921	5.5	15	25.7	930	7.5	18.5	35.4	910	6.3	16.4	29.4	921
160M2	8.5	19.6	29.8	930	7.5	18	26.5	940	11	24.6	39.6	908	8.5	19.6	29.8	930
160L	13	28.6	31.6	942	11	24.5	27.6	957	15	34.7	39	920	13	28.6	31.6	942
180L	17	36.7	49.8	955	15	33.8	46.5	962	20	42.6	58.7	946	17	36.7	49.8	955
200L	26	56.1	82.4	956	22	49.1	69.9	964	33	62	68	942	26	56.1	82.4	956
225M	34	70	85	957	30	62	74.4	962	40	80	101	947	34	70	85	957
250M1	42	80	103	960	37	70.5	91.5	965	50	99	123	950	42	80	103	960
250M2	52	97	110	958	45	84.5	95	965	63	121	134	947	52	97	110	958
280S	63	118	142	966	55	101.5	129.8	969	75	144	169.5	960	63	118	142	966
280M	85	157	140	966	75	139	124	970	100	185	166	960	85	157	140	966
750r/min																
160L	9	22.4	28.1	694	7.5	19.1	23	705	11	27.5	35.3	676	9	22.4	28.1	694
180L	13	29.1	47.8	700	11	27	44	700	15	34	56	690	13	29.1	47.8	700
200L	18.5	40	67.2	701	15	33.5	53.5	712	22	48	81	690	18.5	40	67.2	701

（续）

工作方式	S3															
	6次/h															
负载持续率	40%								60%				100%			
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	最大转矩倍数	空载电流/A	n /(r/min)	效率 (%)	功率因数 $\cos\varphi$	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
1000r/min																
112M	1.5	4.6	12.5	2.3	3.37	866	62.9	0.79	1.1	3.8	7.3	912	0.8	3.5	5.16	940
132M1	2.2	6.1	12.6	2.9	4.04	908	73	0.76	1.8	5.4	9	924	1.5	5	7.3	940
132M2	3.7	9.2	14.5	2.5	5.58	908	77	0.8	3.0	7.9	10.2	937	2.5	7.2	8.4	950
160M1	5.5	15	25.7	2.6	7.95	930	75.7	0.74	5.0	14	22.9	935	4	12.5	18.2	944
160M2	7.5	18	26.5	2.8	11.2	940	79.4	0.8	6.3	16	21.7	949	5.5	15	18.8	956
160L	11	24.9	27.6	2.5	13	945	82	0.82	9	21	22.3	952	7.5	18.8	18.5	970
180L	15	33.8	46.5	3.2	18.8	962	83	0.81	13	29.7	37.3	968	11	25.5	31.4	975
200L	22	49.5	69.9	2.88	26.6	964	86	0.803	19	44.5	60.5	969	17	40.5	52.6	973
225M	30	62	74.4	3.1	29.9	962	88.3	0.83	26	55	64.5	968	22	50	54.2	975
250M1	37	70.5	91.5	3.1	26.5	960	89.2	0.9	32	61	79	970	28	55	69	975
250M2	45	84.5	95	3.1	28.2	965	90.6	0.89	39	73	83	969	33	64	71	974
280S	55	101.5	119.8	3.0	34	969	89	0.9	48	88	107.1	972	40	76	88.9	976
280M	75	138	122.6	3.1	50	969	91	0.906	63	118	104	975	50	96.3	82	980
750r/min																
160L	7.5	19.1	23	2.7	12.7	705	83	0.73	6	16.4	18.2	717	5	14	15	724
180L	11	27	44	2.7	14.8	700	81	0.77	9	21.9	32.1	720	7.5	19.6	26.6	726
200L	15	33.5	53.5	2.9	17.7	712	85	0.79	13	30	46.1	718	11	27	38.7	723

（续）

工作方式	S2								S3 6次/h							
负载持续率	30min				60min				15%				25%			
项目 / 机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)
750r/min																
225M	26	55	71.2	708	22	46.9	59.1	715	33	70	92	696	226	55	71.2	708
250M1	35	64	80	715	30	63.4	67.7	720	42	75	97.5	710	35	64	80	715
250M2	42	86	79	716	37	78	70	720	52	103	98	706	42	86	79	716
280S	52	108	106	712	45	93.5	94	723	60	120	126	713	52	106	106	712
280M	63	126	110	722	55	110.5	92.5	725	75	150	132	715	63	126	110	722
315S	85	148	180	724	75	134	159	727	100	172	213	719	85	148	180	724
315M	100	190	183	715	90	172	160.9	720	125	250	232	717	100	190	183.5	715
600r/min																
280S	42	92	177.1	571	37	84.8	153.2	560	55	112	235.2	564	42	92	177.1	571
280M	55	127	207	556	45	103.8	165	560	63	146	241	548	55	127	207	556
315S	63	132	161.9	580	55	118.3	138.7	580	75	154	194	574	63	132.5	161.9	580
315M	85	179	171	576	75	160	149.3	679	100	210	203	570	85	179	171	576
355M	110	218	207	581	90	180	166.6	585	132	266	252	576	110	218	207	581
355L1	132	257	213	576	110	217	172	582	160	314	261	571	132	257	213	578
355L2	150	275	194	588	132	262	167.5	588	185	353	241	585	150	293	194	585
400L1	190	390	290	585	160	339	250	588	236	472	370	582	190	390	300	585
400L2	240	490	302	585	200	427	258	588	270	540	340	582	240	490	308	586

（续）

工作方式	S3															
	6 次/h															
负载持续率	40%								60%				100%			
项目 机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	最大转矩倍数	空载电流/A	n/(r/min)	效率(%)	功率因数 $\cos\varphi$	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)
750r/min																
225M	22	46.9	59.1	2.9	24.2	715	87.4	0.82	18.5	41	49.5	721	17	38	45	723
250M1	30	63.4	68.8	2.8	31.4	720	87	0.80	26	52	59.1	725	22	46	49.7	729
250M2	37	78	70	2.8	36.9	720	85	0.80	32	68	60	725	27	60	51	729
280S	45	93.5	94	3.1	48.5	723	89	0.81	38	82	80	728	34	75	70.5	729
280M	55	110.5	92.5	2.8	52.3	725	89.5	0.84	48	103	82.8	730	40	93	68.7	732
315S	75	134	159	2.9	62	727	89.5	0.87	63	116	132	731	55	104	115	734
315M	90	172	160.9	3.1	57.7	720	90.2	0.88	75	140	136	725	63	124	113.8	728
600r/min																
280S	37	84.8	153.2	2.8	44.2	572	87	0.76	32	77	133.4	578	27	69	111.8	582
280M	45	103.8	165	3.2	63.6	560	85.6	0.78	37	90	136	569	33	89.6	118	587
315S	55	118.3	138.7	3.1	62.5	580	89.3	0.79	48	106.6	122	585	40	95.2	101	588
315M	75	160	149.3	3.1	85.3	579	89.7	0.79	63	140	124.8	584	50	125	98.5	587
355M	90	180	166.6	3.1	83	589	92.1	0.825	75	154	140	588	63	136	117	589
355L1	110	217	172	2.9	90	582	92.2	0.84	90	181	143	585	75	157	119	588
355L2	132	262	167.5	3.3	126	588	92.4	0.815	110	226	141.8	591	90	191	115.6	592
400L1	160	339	250	3.0	182	588	91	0.79	135	300	210	590	110	263	174	592
400L2	200	423	258	2.85	213	589	92	0.77	177	372	224	591	145	332	183	592

（续）

工作方式	S4 及 S5											
	150 次/h											
负载持续率	25%				40%				60%			
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)
1000r/min												
112M	1.6	4.75	11.3	845	1.3	4.2	8.85	890	1.0	3.75	6.57	920
132M1	2.2	6	11.2	908	2	5.7	10	913	1.7	5.3	8.4	931
132M2	3.7	9.7	13.1	915	3.5	9.2	11.2	925	2.8	8.5	9.65	940
160M1	5.8	15.5	27.3	927	5	14.1	23.4	935	4.8	13.8	22.7	937
160M2	7.5	18	27.6	940	7	17.1	25.6	945	6.0	15.6	21.8	954
160L	11	28.3	27.8	950	10	23	25	957	8	19.5	19.8	969
180L	15	33	43.7	960	13	29.5	37.7	965	12	28	34.6	969
200L	21	47	55.4	965	18.5	42.5	48.5	970	17	40.5	53.8	973
225M	28	58	70	965	25	53	62.2	969	22	50	54.5	973
250M1	33	63	82.6	970	30	58	74.9	973	28	54	69.8	975
250M2	42	78	90.5	967	37	70	79.3	971	33	63	70.5	975
280S	52	95	116	970	45	83	100	974	42	80	93.6	975
280M	70	130	115	972	62	114	102	975	55	90	104	975
750r/min												
160L	7.5	19	22.8	712	7	18.1	21.2	716	5.8	16.4	17.3	724
180L	11	25.4	40.6	711	10	23.5	36.6	717	8	20.5	28.8	728
200L	15	34	54.1	713	13	30	46.6	718	12	28.5	43	720

（续）

工作方式	S4 及 S5												转子电压 /V	转动惯量 J_m /(kg·m²)	重量 /kg
	300 次/h								600 次/h						
负载持续率	40%				60%				60%						
项目 / 机座号	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	I_2 /A	n /(r/min)			
1000r/min															
112M	1.2	4.0	8.0	900	0.9	3.7	587	930	0.7	3.4	4.46	946	100	0.03	73.5
132M1	1.8	5.4	8.95	926	1.6	5.1	7.87	936	1.35	4.9	6.8	945	132	0.06	96.5
132M2	3.3	9.4	11.9	925	2.8	8.5	9.65	940	2.3	6	7.5	950	185	0.07	107.5
160M1	4.8	14.1	23.4	935	4.5	13.8	22.4	937	3.8	12.2	17.5	946	138	0.12	153.5
160M2	6.0	15.6	21.8	954	5.5	14.8	19.8	959	4.0	13	14.2	970	185	0.15	159.5
160L	8.0	19.5	19.8	969	7.5	18.7	18.5	971	5.6	16.7	14.2	978	250	0.2	174
180L	12	28	34.6	969	11	26.6	31.7	972	9	23.6	22.9	978	218	0.39	230
200L	17	40.5	52.5	973	15	37	40	975	11	31.5	28.5	981	200	0.67	390
225M	22	50	54.5	973	20	46	49.4	977	15	39	36.8	982	250	0.84	398
250M1	26	52	64.6	977	25	50	62.1	978	17.5	39	43.2	984	250	1.52	512
250M2	31	60	66.1	976	30	58	63.9	977	24	49	50.9	981	290	1.78	559
280S	40	76	89	977	37	71	82.2	978	30	64	66.5	980	280	2.35	746.5
280M	52	98	85.5	979	47	92	77	981	37	78	61	982	370	2.86	840
750r/min															
160L	6.0	16.7	18	722	5.5	15.5	14.9	727	3.8	13.7	11.2	732	205	0.2	172
180L	8.0	20.5	28.8	728	7.5	19.7	26.9	729	5.8	17.8	20.6	736	172	0.38	230
200L	12	28.2	43	720	11	27	39.1	724	8	23	28.1	731	178	0.67	317

（续）

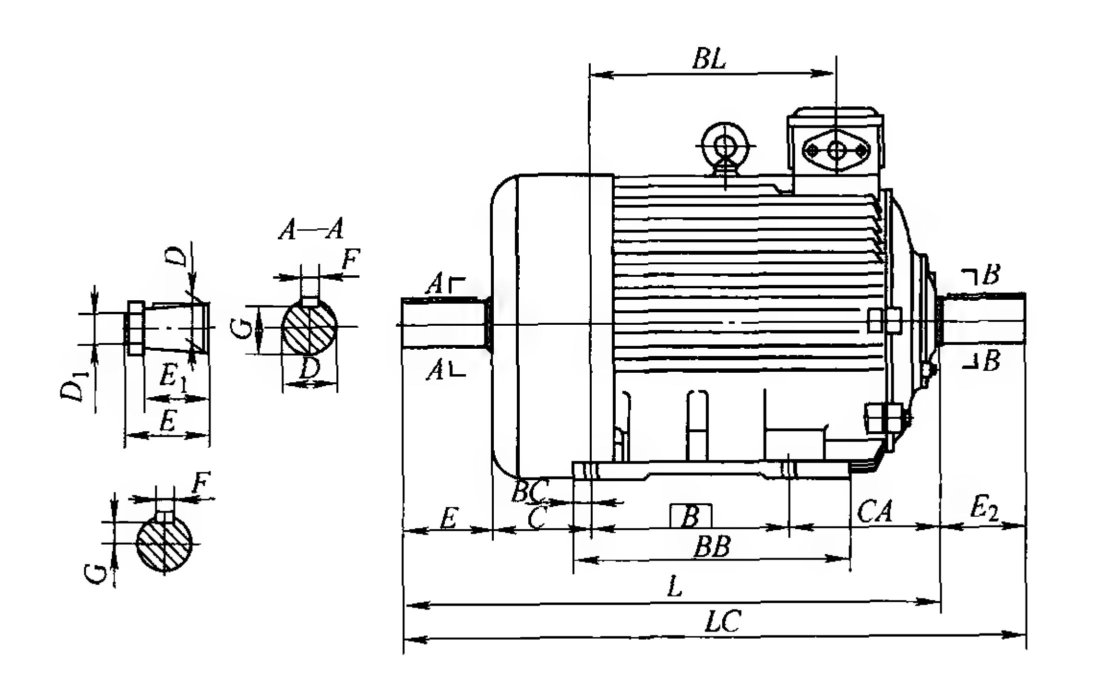
工作方式	S4及S5											
	150次/h											
负载持续率	25%				40%				60%			
项目 / 机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)
750r/min												
225M	21	45	56.8	718	18.5	41	49.7	721	17	38	45.6	724
250M1	29	61.5	68.5	700	25	54	58.7	705	22	49	51.9	712
250M2	33	70	62.5	725	30	64	56.6	727	28	61	52.8	728
280S	42	91	85.5	719	37	83	75.6	722	33	76.2	67	726
280M	52	104	90.2	727	45	93	77.7	730	42	89	72.4	732
315S	64	118	132.7	731	60	110.5	124.2	733	56	106	115.8	733
315M	75	142	136	725	72	136	130.7	725	65	126	117.6	727
600r/min												
280S	33	78.7	141.8	578	30	74	125	579	28	71	116	580
280M	42	98.7	154	575	37	90	136	570	33	84	118	573
315S	50	110	128.4	583	45	100	115.3	585	42	96	107.4	586
315M	65	144	129	584	60	136	119	585	55	130	109	586
355M	80	160.5	149.7	587	72	156	134.5	588	65	140	121	589
355L1	100	185	159	586	90	170	142	588	80	155	126.5	589
355L2	120	250	149.8	588	110	230	137.5	589	95	210	122.7	591
400L1	145	314	223	588	132	290	199	589	120	278	180	590
400L2	185	396	238	590	165	365	262	589	150	342	195	592

（续）

工作方式	S4及S5												转子电压/V	转动惯量 J_m /($kg\cdot m^2$)	重量/kg
	300次/h								600次/h						
负载持续率	40%				60%				60%						
项目／机座号	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	I_2/A	n/(r/min)			
750r/min															
225M	17	38	45.6	724	15	35.1	40	727	11	31	29.1	733	232	0.84	390
250M1	22	49	51.9	712	20	46	46.2	716	15	39	34.2	725	272	1.52	515
250M2	26	58	48.9	730	25	57	47	731	18.5	45	34.4	736	335	1.78	563
280S	31	74	63	728	30	72	61.5	732	24	64	49.1	733	305	2.35	745
280M	42	89	72.4	732	37	83	63.5	735	30	73	51.4	737	360	2.86	847.5
315S	52	100	107	735	48	94	98.8	736	35	80	71.7	740	302	7.22	1050
315M	60	120	108	729	55	116	99	729	41	100	73.7	732	372	8.68	1170
600r/min															
280S	26	68	108	582	25	66	103	583	17	56	69.8	588	150	2.35	766
280M	31	82	110	574	28	78.5	98	577	22	72.5	75	582	172	2.86	840
315S	40	94	102.2	587	37	90	94.5	587	30	84	76.3	589	242	7.22	1026
315M	50	126	98.7	587	48	124	94.7	588	37	114	73	589	325	8.68	1156
355M	60	130	112	590	55	124	102.4	590	41	104	76.19	591	330	14.32	1520
355L1	75	150	119	590	70	145	111	591	50	120	78.4	594	388	17.08	1764
355L2	90	205	116.2	591	80	190	130.2	592	60	165	77.1	594	475	19.18	1810
400L1	110	260	168	591	96	247	148	592	75	220	114	594	395	20.81	2400
400L2	140	324	180	592	120	298	155	592	95	265	122	594	460	24.52	2950

五、YZ 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 B-5、附表 B-6）

附表 B-5　YZ 系列电动机 IM1001、IM1002、IM1003 及 IM1004 外形及安装尺寸　（mm）



（续）

机座号	安装尺寸							外形尺寸(≤)										
	H	*A*	*B*	*C*	*CA*	*K*	*d*	*AA*	*AC*	*AB*	*BB*	*BC*	*BL*	*HA*	*HD*	*HE*	*L*	*LC*
112M	112 −0.5	190	140	70 ±2.0	135	12	M10	50	245	250	235	20	177	15	330	270	420	505
132M	132 −0.5	216	178	89 ±2.0	150	12	M10	50	285	275	260	20	216	17	360	301	495	577
160M	160 −0.5	254	210	108 ±3.0	180	15	M12	60	325	320	290	25	254	20	420	350	608	718
160L	160 −0.5	254	254	108 ±3.0	180	15	M12	60	325	320	335	25	298	20	420	350	650	762
180L	180 −0.5	279	279	121 ±3.0	180	15	M12	70	360	360	380	25	314	20	460	391	685	800
200L	200 −0.5	318	305	133 ±3.0	210	19	M16	90	405	405	400	30	342	25	510	445	780	928
225M	225 −0.5	356	311	149 ±4.0	258	19	M16	90	430	455	410	30	397	28	454	485	850	998
250M	250 −0.5	406	349	168 ±4.0	295	24	M20	95	480	515	510	35	460	30	605	535	935	1092

机座号	轴伸尺寸										
	D	D_1	D_2	*E*	E_1	E_2	E_3	*F*	F_1	*G*	G_1
112M	$32K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$32K6(^{+0.018}_{+0.002})$	80 ±0.37	—	80 ±0.37	—	$10N9(^{0}_{-0.036})$	$10N9(^{0}_{-0.036})$	$27^{0}_{-0.2}$	$27^{0}_{-0.2}$
132M	$38K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$38K6(^{+0.018}_{+0.002})$	80 ±0.37	—	80 ±0.37	—	$10N9(^{0}_{-0.036})$	$10N9(^{0}_{-0.036})$	$33^{0}_{-0.2}$	$33^{0}_{-0.2}$
160M	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	110 ±0.44	—	110 ±0.44	—	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$42.5^{0}_{-0.2}$	$42.5^{0}_{-0.2}$
160L	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	110 ±0.44	—	110 ±0.44	—	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$42.5^{0}_{-0.2}$	$42.5^{0}_{-0.2}$
180L	55	M36 ×3	55	110 ±0.44	82	110 ±0.44	82	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$19.9^{0}_{-0.2}$	$19.9^{0}_{-0.2}$
200L	60	M42 ×3	60	140 ±0.5	105	140 ±0.5	105	$16N9(^{0}_{-0.043})$	$16N9(^{0}_{-0.043})$	$21.4^{0}_{-0.2}$	$21.4^{0}_{-0.2}$
225M	65	M42 ×3	65	140 ±0.5	105	140 ±0.5	105	$16N9(^{0}_{-0.043})$	$16N9(^{0}_{-0.043})$	$23.9^{0}_{-0.2}$	$23.9^{0}_{-0.2}$
250M	70	M48 ×3	70	140 ±0.5	105	140 ±0.5	105	$18N9(^{0}_{-0.043})$	$18N9(^{0}_{-0.043})$	$25.4^{0}_{-0.2}$	$25.4^{0}_{-0.2}$

附表 B-6　YZ 系列电动机 IM3001、IM3003、IM3011 及 IM3013 外形及安装尺寸

（mm）

机座号	安装尺寸										外形尺寸(≤)		轴伸尺寸					
	凸缘号	M	N	P	LA	T	S	R	螺纹直径	孔数	L	AD	D	D_1	E	E_1	F	G
112M	F215	215	180j6($^{+0.014}_{-0.011}$)	250	14	4	15	0 ± 2.0	M12	4	430	220	32K6($^{+0.018}_{+0.002}$)	—	80	—	10N9($^{0}_{-0.036}$)	$27^{0}_{-0.2}$
132M	F265	265	230j6($^{+0.014}_{-0.011}$)	300	14	4	15	0 ± 2.0	M12	4	495	230	38K6($^{+0.018}_{+0.002}$)	—	80	—	10N9($^{0}_{-0.036}$)	$33^{0}_{-0.2}$
160M	F300	300	250j6($^{+0.014}_{-0.011}$)	350	18	5	19	0 ± 3.0	M16	4	700	250	48K6($^{+0.018}_{+0.002}$)	—	110	—	14N9($^{0}_{-0.043}$)	$42.5^{0}_{-0.2}$
160L	F300	300	250j6($^{+0.014}_{-0.011}$)	350	18	5	19	0 ± 3.0	M16	4	743	250		—	110	—	14N9($^{0}_{-0.043}$)	$42.5^{0}_{-0.2}$
180L	F300	300	250j6($^{+0.014}_{-0.011}$)	350	18	5	19	0 ± 3.0	M16	4	735	280	55 *	M36 × 3	110	82	14N9($^{0}_{-0.043}$)	$19.9^{0}_{-0.2}$
200L	F400	400	350j6($^{+0.018}_{-0.018}$)	450	20	5	19	0 ± 4.0	M16	8	855	310	60 *	M42 × 3	140	105	16N9($^{0}_{-0.043}$)	$21.4^{0}_{-0.2}$
225M	F400	400	350j6($^{+0.018}_{-0.018}$)	450	20	5	19	0 ± 4.0	M16	8	915	320	65 *	M42 × 3	140	105	16N9($^{0}_{-0.043}$)	$23.9^{0}_{-0.2}$
250M	F500	500	450j6($^{+0.020}_{-0.020}$)	550	22	5	19	0 ± 4.0	M16	8	1005	355	70 *	M48 × 3	140	105	18N9($^{0}_{-0.043}$)	$25.4^{0}_{-0.2}$

六、YZR 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 B-7、附表 B-8）

附表 B-7　YZR 系列 IM1001、IM1002、IM1003 及 IM1004 外形及安装尺寸　　（mm）

(续)

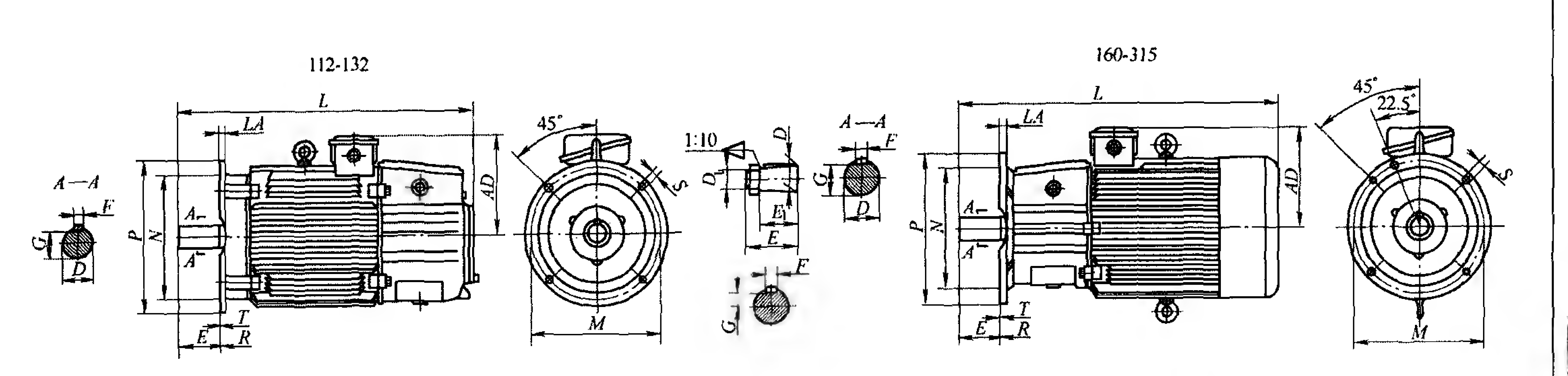
机座号	安装尺寸							外形尺寸(≤)										
	H	*A*	*B*	*C*	*CA*	*K*	*d*	*AA*	*AB*	*AC*	*BB*	*BC*	*BL*	*HA*	*HD*	*HE*	*L*	*LC*
112M	$112_{-0.5}^{0}$	190	140	70 ±2.0	300	12	M10	50	250	245	235	20	177	15	330	270	590	670
132M	$132_{-0.5}^{0}$	216	178	89 ±2.0	300	12	M10	50	285	275	260	20	216	17	360	301	645	727
160M	$160_{-0.5}^{0}$	254	210	108 ±3.0	330	15	M12	60	325	320	290	25	254	20	420	350	758	868
160L	$160_{-0.5}^{0}$	254	254	108 ±3.0	330	15	M12	60	325	320	335	25	298	20	420	350	800	912
180L	$180_{-0.5}^{0}$	279	279	121 ±3.0	360	15	M12	70	360	360	380	25	314	20	460	391	870	980
200L	$200_{-0.5}^{0}$	318	305	133 ±3.0	400	19	M16	90	405	405	400	30	342	25	510	445	975	1118
225M	$225_{-0.5}^{0}$	356	311	149 ±4.0	450	19	M16	90	455	430	410	30	397	25	545	485	1050	1190
250M	$250_{-0.5}^{0}$	406	349	168 ±4.0	540	24	M20	95	515	480	510	35	460	30	605	535	1195	1337
280S	$280_{-0.8}^{0}$	457	368	190 ±4.0	540	24	M20	100	575	535	530	35	459	32	665	577	1265	1438
280M	$280_{-0.8}^{0}$	457	419	190 ±4.0	540	24	M20	100	575	535	580	35	510	32	665	577	1315	1489
315S	$315_{-1.0}^{0}$	508	406	216 ±4.0	600	28	M24	110	640	620	580	42	513	35	750	652	1390	1562
315M	$315_{-1.0}^{0}$	508	457	216 ±4.0	600	28	M24	110	640	620	630	42	563	35	750	652	1440	1613
355M	$355_{-1.0}^{0}$	610	560	254 ±4.0	630	28	M24	120	740	710	730	41	669	38	840	736	1650	1864
355L	$355_{-1.0}^{0}$	610	630	254 ±4.0	630	28	M24	120	740	710	800	41	739	38	840	736	1720	1934
400L	$400_{-1.0}^{0}$	686	710	280 ±4.0	630	35	M30	160	855	840	910	68	672	45	950	925	1865	2120

（续）

机座号	轴伸尺寸										
	D	D_1	D_2	E	E_1	E_2	E_3	F	F_1	G	G_1
112M	$32K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$32K6(^{+0.018}_{+0.002})$	80 ±0.37	—	80 ±0.37	—	$10N9(^{\ 0}_{-0.036})$	$10N9(^{\ 0}_{-0.036})$	$27^{\ 0}_{-0.2}$	$27^{\ 0}_{-0.2}$
132M	$38K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$38K6(^{+0.018}_{+0.002})$	80 ±0.37	—	80 ±0.37	—	$10N9(^{\ 0}_{-0.036})$	$10N9(^{\ 0}_{-0.036})$	$33^{\ 0}_{-0.2}$	$33^{\ 0}_{-0.2}$
160M	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	110 ±0.44	—	110 ±0.44	—	$14N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$14N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$42.5^{\ 0}_{-0.2}$	$42.5^{\ 0}_{-0.2}$
160L	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	110 ±0.44	—	110 ±0.44	—	$14N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$14N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$42.5^{\ 0}_{-0.2}$	$42.5^{\ 0}_{-0.2}$
180L	55	M36 ×3	55	110 ±0.44	82	110 ±0.44	82	$14N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$14N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$19.9^{\ 0}_{-0.2}$	$19.9^{\ 0}_{-0.2}$
200L	60	M42 ×3	60	140 ±0.5	105	140 ±0.5	105	$16N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$16N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$21.4^{\ 0}_{-0.2}$	$21.4^{\ 0}_{-0.2}$
225M	65	M42 ×3	65	140 ±0.5	105	140 ±0.5	105	$16N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$16N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$23.9^{\ 0}_{-0.2}$	$23.9^{\ 0}_{-0.2}$
250M	70	M48 ×3	70	140 ±0.5	105	140 ±0.5	105	$18N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$18N9(^{\ 0}_{-0.043})$	$25.4^{\ 0}_{-0.2}$	$25.4^{\ 0}_{-0.2}$
280S	85	M56 ×4	85	170 ±0.5	130	170 ±0.5	130	$20N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$20N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$31.7^{\ 0}_{-0.2}$	$31.7^{\ 0}_{-0.2}$
280M	85	M56 ×4	85	170 ±0.5	130	170 ±0.5	130	$20N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$20N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$31.7^{\ 0}_{-0.2}$	$31.7^{\ 0}_{-0.2}$
315S	95	M64 ×4	95	170 ±0.5	130	170 ±0.5	130	$22N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$22N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$35.2^{\ 0}_{-0.2}$	$35.2^{\ 0}_{-0.2}$
315M	95	M64 ×4	95	170 ±0.5	130	170 ±0.5	130	$22N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$22N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$35.2^{\ 0}_{-0.2}$	$35.2^{\ 0}_{-0.2}$
355M	110	M80 ×4	110	210 ±0.58	165	210 ±0.58	165	$25N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$25N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$41.9^{\ 0}_{-0.2}$	$41.9^{\ 0}_{-0.2}$
355L	110	M80 ×4	110	210 ±0.58	165	210 ±0.58	165	$25N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$25N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$41.9^{\ 0}_{-0.2}$	$41.9^{\ 0}_{-0.2}$
400L	130	M100 ×4	130	250 ±0.58	200	250 ±0.58	200	$28N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$28N9(^{\ 0}_{-0.052})$	$50^{\ 0}_{-0.2}$	$50^{\ 0}_{-0.2}$

附表 B-8 YZR 系列 IM3001、IM3003、IM3011 及 IM3013 外形及安装尺寸

(mm)



机座号	安装尺寸										外形尺寸(≤)		轴伸尺寸					
	凸缘号	M	N	P	LA	T	S	R	螺纹直径	孔数	L	AD	D	D_1	E	E_1	F	G
112M	F215	215	$180j6(^{+0.014}_{-0.011})$	250	14	4	15	0 ±2.0	M12	4	595	220	$32K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	80 ±0.37		$10N9(^{0}_{-0.036})$	$27^{0}_{-0.2}$
132M	F265	265	$230j6(^{+0.016}_{-0.013})$	300	14	4	15	0 ±2.0	M12	4	645	230	$38K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	80 ±0.37		$10N9(^{0}_{-0.036})$	$33^{0}_{-0.2}$
160M	F300	300	$250j6(^{+0.016}_{-0.013})$	350	18	5	19	0 ±3.0	M16	4	828	250	$48K6(^{+0.018}_{+0.002})$	—	110 ±0.44		$14N9(^{0}_{-0.043})$	$42.5^{0}_{-0.2}$
160L	F300	300	$250j6(^{+0.016}_{-0.013})$	350	18	5	19	0 ±3.0	M16	4	872	250		—	110 ±0.44		$14N9(^{0}_{-0.043})$	$42.5^{0}_{-0.2}$
180L	F300	300	$250j6(^{+0.016}_{-0.013})$	350	18	5	19	0 ±3.0	M16	4	915	280	55 *	M36 ×3	110 ±0.5	82	$14N9(^{0}_{-0.043})$	$19.9^{0}_{-0.2}$
200L	F400	400	$350j6(^{+0.018}_{-0.018})$	450	20	5	19	0 ±4.0	M16	8	1050	320	60 *	M42 ×3	140 ±0.5	105	$16N9(^{0}_{-0.043})$	$21.4^{0}_{-0.2}$
225M	F400	400	$350j6(^{+0.018}_{-0.018})$	450	20	5	19	0 ±4.0	M16	8	1110	320	65 *	M42 ×3	140 ±0.5	105	$16N9(^{0}_{-0.043})$	$23.9^{0}_{-0.2}$
250M	F500	500	$450j6(^{+0.020}_{-0.020})$	550	22	5	19	0 ±4.0	M16	8	1266	320	70 *	M48 ×3	140 ±0.5	105	$18N9(^{0}_{-0.043})$	$25.4^{0}_{-0.2}$
280S	F500	500	$450j6(^{+0.020}_{-0.020})$	550	22	5	19	0 ±4.0	M16	8	1370	385	85 *	M56 ×4	170 ±0.5	130	$20N9(^{0}_{-0.052})$	$31.7^{0}_{-0.2}$
280M	F500	500	$450j6(^{+0.020}_{-0.020})$	550	22	5	19	0 ±4.0	M16	8	1420	385	85 *	M56 ×4	170 ±0.5	130	$20N9(^{0}_{-0.052})$	$31.7^{0}_{-0.2}$
315S	F600	600	$550j6(^{+0.022}_{-0.022})$	660	25	6	24	0 ±4.0	M20	8	1475	435	95 *	M64 ×4	170 ±0.5	130	$22N9(^{0}_{-0.052})$	$35.2^{0}_{-0.2}$
315M	F600	600	$550j6(^{+0.022}_{-0.022})$	660	25	6	24	0 ±4.0	M20	8	1525	435	95 *	M64 ×4	170 ±0.5	130	$22N9(^{0}_{-0.052})$	$35.2^{0}_{-0.2}$

附录C YZP系列电动机技术数据

一、YZP系列电动机型谱（见附表C-1）

附表C-1 YZP系列电动机型谱

工作方式	S2								S3 6次/h																			
负载持续率	30min				60min				15%				25%				40%				60%				100%			
转速 / 功率/kW	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600
YZP 112M1	3.3	1.7			3.0	1.5			4.0	2.2			3.3	1.7			3.0	1.5			2.6	1.3			2.0	1.1		
YZP 112M2	4.5	2.5			4.0	2.2			5.0	3.0			4.5	2.5			4.0	2.2			3.5	1.8			3.0	1.5		
YZP 132M1	6.3	3.3			5.5	3.0			7.5	4.0			6.3	3.3			5.5	3.0			4.8	2.6			4.0	2.0		
YZP 132M2	7.0	4.0			6.3	3.7			9.0	5.0			7.0	4.0			6.3	3.7			5.3	3.2			4.8	2.5		
YZP 160M1	8.5	6.3			7.5	5.5			10.0	7.5			8.5	6.3			7.5	5.5			6.3	4.8			5.0	4.0		
YZP 160M2	13.0	8.5			11.0	7.5			14.0	10.0			13.0	8.5			11.0	7.5			9.5	6.3			8.8	5.5		
YZP 160L	17.0	13.0	8.5		15.0	11.0	7.5		20.0	15.0	11.0		17.0	13.0	8.5		15.0	11.0	7.5		13.0	9.0	6.3		11.0	7.5	5.5	
YZP 180L	25.0	17.0	13.0		22.0	15.0	11.0		29.0	20.0	15.0		25.0	17.0	13.0		22.0	15.0	11.0		19.0	13.0	9.5		16.0	11.0	8.0	
YZP 200L	35.0	25.0	17.0		30.0	22.0	15.0		39.0	31.0	22.0		35.0	25.0	17.0		30.0	22.0	15.0		26.0	19.0	13.0		22.0	16.0	11.0	
YZP 225M	42.0	35.0	26.0		37.0	30.0	22.0		50.0	40.0	30.0		42.0	35.0	26.0		37.0	30.0	22.0		32.0	25.0	19.0		27.0	22.0	16.0	
YZP 250M1	52.0	42.0	36.0		45.0	37.0	30.0		60.0	50.0	42.0		52.0	42.0	36.0		45.0	37.0	30.0		39.0	32.0	26.0		33.0	27.0	22.0	
YZP 250M2	63.0	52.0	42.0		55.0	45.0	37.0		75.0	63.0	52.0		63.0	52.0	42.0		55.0	45.0	37.0		47.0	39.0	32.0		40.0	33.0	27.0	
YZP 280S1	70.0	63.0	52.0	42.0	63.0	55.0	45.0	37.0	95.0	75.0	60.0	55.0	70.0	63.0	52.0	42.0	63.0	55.0	45.0	37.0	55.0	48.0	39.0	32.0	48.0	40.0	33.0	27.0
YZP 280S2	85.0	70.0			75.0	63.0			115	85.0			85.0	70.0	63.0		75.0	63.0	55.0		63.0	53.0	47.0		55.0	46.0	40.0	
YZP 280M	100	85.0	63.0	52.0	90.0	75.0	55.0	45.0	120	100	75.0	63.0	100	85.0	70.0	52.0	90.0	75.0	63.0	45.0	75.0	63.0	53.0	39.0	65.0	55.0	46.0	33.0
YZP 315S1	125	103	70.0	63.0	110	90.0	63.0	55.0	140	120	84.0	75.0	125	103	85.0	63.0	110	90.0	75.0	55.0	92.0	75.0	63.0	47.0	80.0	65.0	55.0	40.0
YZP 315S2			85.0	70.0			75.0	63.0			100	84.0				70.0				63.0				53.0				46.0
YZP 315M	155	125	100	85.0	132	110	90.0	75.0	190	155	125	100	155	125	100	85.0	132	110	90.0	75.0	110	92.0	75.0	63.0	95.0	80.0	65.0	55.0
YZP 355M			125	100			110	90.0			155	132			125	100			110	90.0			92.0	75.0			80.0	65.0
YZP 355L1			150	125			132	110			190	160			150	125			132	110			110	92.0			95.0	80.0
YZP 355L2			185	150			160	132			225	185			185	150			160	132			132	110			115	95.0
YZP 400L1			230	185			200	160			280	236			230	185			200	160			170	132			145	115
YZP 400L2			300	230			250	200			350	270			300	230			250	200			210	170			180	145

（续）

工作方式	S4及S5																							
	150次/h												300次/h								600次/h			
负载持续率	25%				40%				60%				40%				60%				60%			
功率/kW \ 转速	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600	1500	1000	750	600
YZP 112M1	3.0	1.6			2.8	1.3			2.2	1.0			2.2	1.2			2.0	0.9			1.8	0.7		
YZP 112M2	4.0	2.2			3.7	2.0			2.8	1.7			2.8	1.8			2.5	1.6			2.2	1.3		
YZP 132M1	5.8	3.0			5.0	2.8			4.8	2.2			4.8	2.2			4.5	2.1			3.8	1.8		
YZP 132M2	6.6	3.7			5.7	3.5			5.4	2.8			5.4	3.3			5.1	2.8			4.3	2.7		
YZP 160M1	7.5	5.8			7.0	5.0			6.0	4.8			6.0	4.8			5.5	4.5			4.0	3.8		
YZP 160M2	10.0	7.5			9.0	7.0			8.0	6.0			8.0	6.0			7.0	5.5			5.9	4.0		
YZP 160L	14.0	11.0	7.5		13.0	10.0	7.0		11.0	8.0	5.8		11.0	8.0	6.0		10.0	7.5	5.5		9.0	5.9	3.8	
YZP 180L	20.0	15.0	11.0		18.0	13.0	10.0		17.0	12.0	8.0		17.0	12.0	8.0		15.0	11.0	7.0		11.0	9.0	5.8	
YZP 200L	28.0	21.0	15.0		25.0	18.5	13.0		22.0	17.0	12.0		22.0	17.0	12.0		20.0	15.0	11.0		15.0	11.0	8.0	
YZP 225M	34.0	28.0	21.0		33.0	25.0	18.5		30.0	22.0	17.0		28.0	22.0	17.0		26.0	20.0	15.0		20.0	15.0	11.0	
YZP 250M1	42.0	33.0	29.0		37.0	30.0	25.0		36.0	28.0	22.0		33.0	26.0	22.0		33.0	25.0	20.0		27.0	17.5	15.0	
YZP 250M2	55.0	42.0	33.0		47.0	37.0	30.0		42.0	33.0	28.0		42.0	31.0	26.0		40.0	30.0	25.0		35.0	24.0	18.5	
YZP 280S1	63.0	52.0	42.0	33.0	60.0	45.0	37.0	30.0	55.0	42.0	33.0	28.0	50.0	40.0	33.0	26.0	45.0	37.0	30.0	25.0	40.0	30.0	24.0	17.0
YZP 280S2	75.0	59.0			70.0	51.0			65.0	48.0	42.0		55.0	45.0	42.0		50.0	42.0	27.0		45.0	34.0	30.0	
YZP 280M	85.0	70.0	52.0	42.0	80.0	62.0	45.0	37.0	75.0	55.0		33.0	70.0	52.0		31.0	65.0	47.0	42.0	28.0	60.0	37.0	34.0	22.0
YZP 315S1	102	84.0	59.0	50.0	90.0	74.0	50.0	45.0	80.0	66.0	48.0	42.0	75.0	62.0	48.0	40.0	68.0	56.0	48.0	37.0	65.0	44.0	38.0	30.0
YZP 315S2			64.0	54.0			60.0	50.0			56.0	46.0			52.0	42.0				40.0				31.0
YZP 315M	125	102	74.0	65.0	120	90.0	71.0	60.0	115	80.0	65.0	55.0	105	75.0	60.0	50.0	100	68.0	55.0	48.0	90.0	53.0	41.0	37.0
YZP 355M			100	80.0			95.0	72.0			82.0	65.0			78.0	60.0			70.0	55.0			60.0	41.0
YZP 355L1			115	100			106	90.0			98.0	80.0			95.0	75.0			85.0	70.0			70.0	50.0
YZP 355L2			140	120			125	110			120	95.0			110	90.0			100	80.0			90.0	60.0
YZP 400L1			195	145			180	132			170	120			150	110			135	96.0			130	75.0
YZP 400L2			240	185			220	165			205	150			195	140			180	120			170	95.0

二、YZP 系列电动机技术数据（见附表 C-2）

附表 C-2 YZP 系列电动机技术数据

工作方式	S2						S3																	
							6 次/h																	
	30min			60min			15%			25%			40%						60%			100%		
机座号	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	最大转矩倍数	空载电流/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)
1500r/min																								
112M1	3.3	7.8	1410	3.0	7.2	1419	4.0	9.4	1384	3.3	7.8	1410	3.0	7.2	38	2.8	3.72	1419	2.6	6.7	1431	2.0	5.82	1447
112M2	4.5	10.8	1477	4.0	9.5	1422	5.0	11.8	1398	4.5	10.8	1477	4.0	9.5	53.4	2.8	5.1	1422	3.5	8.8	1433	3.0	8.1	1443
132M1	6.3	13.9	1434	5.5	13	1444	7.5	16.3	1419	6.3	13.9	1434	5.5	13	87	3.0	6.7	1444	4.8	11.6	1451	4.0	10.5	1459
132M2	7.0	15.1	1427	6.3	14	1436	9.0	19.4	1399	7.0	15.1	1427	6.3	14	85	2.8	6.1	1436	5.3	11.9	1447	4.8	11.1	1452
160M1	8.5	17.1	1440	7.5	15	1445	10.0	19.8	1427	8.5	17.1	1440	7.5	15	110	3.2	6.1	1445	6.3	13.1	1457	5.0	11	1466
160M2	13.0	25.5	1434	11.0	23	1445	14.0	27.5	1428	13.0	25.5	1434	11.0	23	175	3.2	7.8	1445	9.5	18.9	1454	8.8	17.9	1458
160L	17.0	33.4	1442	15.0	29	1445	20.0	38.8	1429	17.0	33.4	1442	15.0	29	243	3.3	11.2	1445	13.0	26.1	1457	11.0	22.9	1464
180L	25.0	50.2	1453	22.0	45	1455	29.0	57.5	1444	25.0	50.2	1453	22.0	45	335	3.2	18.7	1455	19.0	40	1465	16.0	35.5	1471
200L	35.0	67.1	1462	30.0	58	1465	39.0	73.9	1457	35.0	67.1	1462	30.0	58	485	3.2	20.1	1465	26.0	50.5	1473	22.0	44.3	1477
225M	42.0	78.8	1464	37.0	70	1468	50.0	94.8	1456	42.0	78.8	1464	37.0	70	625	3.3	24.2	1468	32.0	61.5	1473	27.0	53.7	1477
250M1	52.0	95.4	1450	45.0	82.5	1458	60.0	113.8	1440	52.0	95.4	1450	45.0	82.5	551	2.8	19.8	1458	39.0	72.3	1464	33.0	61.5	1470
250M2	63.0	115.5	1449	55.0	101	1457	75.0	142.3	1437	63.0	115.5	1449	55.0	101	669	2.6	21.6	1457	47.0	76.2	1464	40.0	74.2	1469
280S1	70.0	127	1472	63.0	113.1	1475	95.0	174.3	1460	70.0	127	1472	63.0	113.1	868	3.0	29.5	1475	55.0	101	1478	48.0	88.1	1481
280S2	85.0	152.5	1470	75.0	133.2	1475	115.0	208	1458	85.0	152.5	1470	75.0	133.2	1024	3.0	32.3	1475	63.0	114.4	1478	55.0	101	1481
280M	100.0	177.5	1470	90.0	159.8	1473	120.0	215.4	1464	100.0	177.5	1470	90.0	159.8	1230	3.0	36.8	1473	75.0	134.6	1478	65.0	118	1481
315S	125.0	222	1451	110.0	193.2	1458	140.0	251.4	1444	125.0	222	1451	110.0	193.2	1484	3.2	38.5	1458	92.0	161.6	1465	80.0	142	1470
315M	155.0	272.3	1459	132.0	231.8	1465	190.0	337.4	1448	155.0	272.3	1459	132.0	231.8	2216	3.2	54.6	1465	110.0	195.3	1471	75.0	139.2	1480

（续）

工作方式	S2						S3																	
							6 次/h																	
	30min			60min			15%			25%			40%						60%			100%		
机座号	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	最大转矩倍数	空载电流/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)
1000r/min																								
112M1	1.7	4.5	935	1.5	4.2	944	2.2	5.6	908	1.7	4.5	935	1.5	4.2	19.4	2.7	2.51	944	1.3	3.8	952	1.1	3.6	959
112M2	2.5	6.3	924	2.2	5.7	935	3.0	7.6	900	2.5	6.3	924	2.2	5.7	25.3	2.5	3.0	935	1.8	5.0	948	1.5	4.6	957
132M1	3.3	8.0	953	3.0	7.5	958	4.0	9.5	941	3.3	8.0	953	3.0	7.6	40.0	2.7	4.08	958	2.6	6.8	964	2.0	6.0	972
132M2	4.0	9.6	961	3.7	9.03	964	5.0	11.4	949	4.0	9.6	961	3.7	9.03	53.6	3.0	8.97	964	3.2	8.36	969	2.5	7.38	976
160M1	6.3	13.3	960	5.5	11.6	966	7.5	16	950	6.3	13.3	960	5.5	11.6	70.9	2.7	4.69	966	4.8	10.4	971	4.0	9.2	976
160M2	8.5	17.9	964	7.5	15.9	969	10.0	20.5	956	8.5	17.9	964	7.5	15.9	110.6	2.8	6.7	969	6.3	13.7	974	5.5	12.6	977
160L	13.0	26.2	960	11.0	22.6	967	15.0	30.4	953	13.0	26.2	960	11.0	22.6	158.2	2.8	8.73	967	9.0	19.1	974	7.5	16.8	978
180L	17.0	36.6	971	15.0	32.7	974	20.0	42.0	964	17.0	36.6	971	15.0	32.7	247.5	3.0	15.69	974	13.0	29.8	978	11.0	26.6	981
200L	25.0	50.8	970	22.0	45.8	974	31.0	61.5	962	25.0	50.8	970	22.0	45.8	402.5	3.2	20.25	974	19.0	40.6	978	16.0	36.5	981
225M	35.0	67.8	968	30.0	58.8	973	40.0	77.5	962	35.0	67.8	968	30.0	58.8	514.1	2.8	21.66	973	25.0	50.2	977	22.0	45.9	980
250M1	42.0	78.7	980	37.0	70.1	983	50.0	93.7	976	42.0	78.7	980	37.0	70.1	625.4	3.1	22.97	983	32.0	61.4	985	27.0	53.7	987
250M2	52.0	96.5	979	45.0	83.4	982	63.0	116.8	974	52.0	96.5	979	45.0	83.4	738.8	3.1	26.39	982	39.0	73.1	985	33.0	64.2	987
280S1	63.0	116.8	977	55.0	102	981	75.0	139.1	972	63.0	116.8	977	55.0	102	789.9	2.8	29.11	981	48.0	90	983	40.0	75.9	986
280S2	70.0	129.8	981	63.0	116.9	983	85.0	155.9	976	70.0	129.8	981	63.0	116.9	1068.9	3.2	37.95	983	53.0	100.6	986	46.0	89.4	988
280M	85.0	157.7	979	75.0	139.1	982	100.0	185.5	975	85.0	157.7	979	75.0	139.1	1226	3.1	42.23	982	63.0	118.3	985	55.0	105.7	987
315S	103.0	210.3	978	90.0	165.2	981	120.0	217.7	974	103.0	210.3	978	90.0	165.2	1326.6	3.4	51.01	981	75.0	140.8	984	65.0	124.9	986
315M	125.0	226.8	974	110.0	197.4	977	155.0	284.3	967	125.0	226.8	974	110.0	197.4	1402.1	2.9	49.12	977	92.0	168.8	981	80.0	148.5	984

（续）

工作方式	S2						S3																	
							6 次/h																	
	30min			60min			15%			25%			40%						60%			100%		
机座号	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	最大转矩倍数	空载电流/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)	功率/kW	I_1/A	n/(r/min)
750r/min																								
160L	8.5	19.4	719	7.5	17.8	723	11.0	24.8	707	8.5	19.4	719	7.5	17.8	100.1	2.8	9.32	723	6.3	15.8	728	5.5	14.6	730
180L	13.0	30.1	714	11.0	25.5	721	15.0	34.3	706	13.0	30.1	714	11.0	25.5	125.8	2.4	12.50	721	9.5	23.2	725	8.0	20.7	729
200L	17.0	39.2	726	15.0	35.4	729	22.0	47.9	718	17.0	39.2	726	15.0	35.4	258.6	3.1	20.10	729	13.0	32.5	732	11.0	30.1	735
225M	26.0	55.4	722	22.0	48.1	727	30.0	63.1	717	26.0	55.4	722	22.0	48.1	350.0	2.8	23.45	727	19.0	43.2	730	16.0	38.5	733
250M1	36.0	77.6	718	30.0	65.5	724	42.0	90.4	711	36.0	77.6	718	30.0	65.5	401.9	2.8	31.29	724	26.0	59.8	728	22.0	53.5	731
250M2	42.0	89.4	718	37.0	79.8	723	52.0	110.6	709	42.0	89.4	718	37.0	79.8	471.9	2.6	35.32	723	32.0	70.9	727	27.0	63.1	731
280S1	52.0	104.6	733	45.0	92.7	735	60.0	119.1	730	52.0	104.6	733	45.0	92.7	710.5	3.1	43.23	735	39.0	83.6	737	33.0	74.6	739
280M	63.0	122.3	730	55.0	108.0	732	75.0	146.6	725	63.0	122.3	730	55.0	108.0	689.2	2.7	40.01	732	47.0	94.6	735	40.0	83.6	737
315S1	70.0	137.6	738	63.0	126.8	739	84.0	161.2	735	70.0	137.6	738	63.0	126.8	1088.6	3.2	57.11	739	53.0	110.7	741	46.0	101.2	742
315S2	85.0	167.1	737	75.0	151.0	739	100.0	192.0	735	85.0	167.1	737	75.0	151.0	1333.7	3.3	68.88	739	63.0	133.4	741	55.0	121.1	742
315M1	100.0	192.0	737	90.0	174.8	738	125.0	234.5	733	100.0	192.0	737	90.0	174.8	1482.8	3.3	71.14	738	75.0	151.2	740	65.0	136.1	741
355M2	125.0	243.1	741	110.0	219.1	742	155.0	294.2	738	125.0	243.1	741	110.0	219.1	2086.4	3.3	98.85	742	92.0	190.2	743	80.0	174.2	744
355L1	150.0	284.9	740	132.0	256.7	741	190.0	356.5	737	150.0	284.9	740	132.0	256.7	2367.0	3.3	108.05	741	110.0	221.8	743	95.0	144.3	744
355L2	185.0	351.4	740	160.0	311.2	741	225.0	422.2	738	185.0	351.4	740	160.0	311.2	2953.1	3.2	130.71	741	132.0	269.5	743	115.0	240.8	744
400L1	230.0	432.2	739	200.0	384.8	741	280.0	425.4	737	230.0	432.2	739	200.0	384.8	3275.1	3.3	88.35	741	170.0	335.1	742	145.0	296.6	743
400L2	300.0	570.4	740	250.0	492.7	742	350.0	657.8	738	300.0	570.4	740	250.0	492.7	4711.1	3.4	125.45	742	210.0	429.6	743	180.0	387.9	744
600r/min																								
280S	42.0	570.4	588	37.0	83.2	589	55.0	115.8	583	42.0	570.4	588	37.0	83.2	515.5	2.8	42.79	589	32.0	75.0	591	27.0	68.0	592
280M	52.0	112.5	587	45.0	99.9	589	63.0	132.7	584	52.0	112.5	587	45.0	99.9	629.7	2.9	50.68	589	39.0	91.4	591	33.0	81.9	592
315S1	63.0	131.1	584	55.0	116.2	586	75.0	152.5	581	63.0	131.3	584	55.0	116.2	784.6	2.9	53.88	586	47.0	104.6	588	40.0	92.7	590
315S2	70.0	144.2	584	63.0	133.1	586	84.0	170.8	581	70.0	144.2	584	63.0	133.1	897.4	2.9	59.79	586	53.0	116.4	588	46.0	106.6	590
315M	85.0	173.1	585	75.0	158.5	586	100.0	203.3	582	85.0	173.1	585	75.0	158.5	1109.5	3.0	70.64	586	63.0	136.8	589	55.0	124.4	590
355M	100.0	198.9	592	90.0	183.4	593	132.0	256.2	588	100.0	198.9	592	90.0	183.4	1345.1	3.0	78.23	593	75.0	158.7	594	65.0	143.1	594
355L1	125.0	242.8	591	110.0	216.2	592	160.0	310.6	588	125.0	242.8	591	110.0	216.2	1483.6	2.8	84.60	592	92.0	187.8	593	80.0	167.5	594
355L2	150.0	294.9	591	132.0	262.9	592	185.0	359	589	150.0	294.9	591	132.0	262.9	1996.0	3.0	110.32	592	110.0	227.4	594	95.0	204.2	594
400L1	185.0	364.6	593	160.0	327.3	594	236.0	458.9	591	185.0	364.6	593	160.0	327.3	2451.8	3.2	86.38	594	132.0	280.7	595	115.0	258.1	595
400L2	230.0	458.9	593	200.0	409.1	594	270.0	531.4	592	230.0	458.9	593	200.0	409.1	3294.0	3.3	111.75	594	170.0	361.5	595	145.0	325.5	595

（续）

工作方式	S4 及 S5									S4 及 S5									转动惯量 /(kg·m²)	重量 /kg
	150 次/h									300 次/h						600 次/h				
	25%			40%			60%			40%			60%			60%				
机座号	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	最大转矩倍数	空载电流 /A	n /(r/min)		
1500r/min																				
112M1	3.0	6.9	1394	2.8	6.4	1403	2.2	5.2	1456	2.2	5.2	1456	2.0	5.0	1434	1.8	4.76	1441	0.025	61
112M2	4.0	9.5	1422	3.7	9.5	1428	2.8	7.8	1446	2.8	7.8	1446	2.5	7.6	1452	2.2	7.3	1457	0.026	69
132M1	5.8	13.1	1440	5.0	11.7	1449	4.8	11.4	1451	4.8	11.4	1451	4.5	11.0	1454	3.8	10.17	1461	0.042	86
132M2	6.6	14.2	1432	5.7	12.5	1442	5.4	12.0	1446	5.4	12.0	1446	5.1	11.5	1449	4.3	10.2	1457	0.044	98
160M1	7.5	15.0	1448	7.0	14.2	1452	6.0	12.4	1459	6.0	12.4	1459	5.5	11.7	1463	4.0	9.5	1473	0.11	120
160M2	10.0	19.8	1452	9.0	17.8	1457	8.0	16.4	1462	8.0	16.4	1462	7.0	14.9	1467	5.9	13.4	1472	0.13	125
160L	14.0	27.4	1453	13.0	25.8	1457	11.0	22.6	1464	11.0	22.6	1464	10.0	21.1	1467	9.0	19.7	1470	0.15	145
180L	20.0	41.7	1463	18.0	37.5	1467	17.0	36.3	1469	17.0	36.3	1469	15.0	33.3	1472	11.0	28.5	1479	0.25	195
200L	28.0	53.1	1470	25.0	48.5	1474	22.0	43.7	1477	22.0	43.7	1477	20.0	44.3	1479	15.0	33.8	1484	0.41	310
225M	34.0	63.8	1471	33.0	62.6	1472	30.0	57.6	1474	28.0	55.0	1476	26.0	51.7	1478	20.0	42.8	1483	0.51	340
250M1	42.0	77.0	1461	37.0	67.89	1466	36.0	66.0	1467	33.0	61.2	1470	33.0	61.2	1470	27.0	50.7	1475	0.89	424
250M2	55.0	99.8	1457	47.0	85.2	1464	42.0	76.2	1468	42.0	76.2	1468	40.0	72.6	1469	35.0	64.0	1473	1.03	519
280S1	63.0	111.8	1475	60.0	107.7	1476	55.0	98.7	1478	50.0	90.7	1480	45.0	81.7	1482	40.0	77.2	1482	1.85	755
280S2	75.0	133.1	1474	70.0	124.3	1476	65.0	115.4	1478	55.0	98.7	1481	50.0	90.8	1483	45.0	86.4	1483	2.0	785
280M	85.0	150.9	1475	80.0	140.5	1477	75.0	133.2	1478	70.0	124.3	1480	65.0	116.7	1481	60.0	107.7	1483	2.2	860
315S	102.0	179.2	1461	90.0	158.1	1466	80.0	140.5	1470	75.0	133.1	1472	68.0	122.1	1474	65.0	123.5	1479	4.2	900
315M	125.0	217.2	1467	120.0	210.8	1468	115	203	1470	105.0	185.3	1472	100.0	175.6	1474	90.0	159.8	1477	4.9	1193

（续）

工作方式	S4 及 S5									S4 及 S5									转动惯量 /(kg·m²)	重量 /kg
	150 次/h									300 次/h						600 次/h				
	25%			40%			60%			40%			60%			60%				
机座号	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	最大转矩倍数	空载电流 /A	n /(r/min)		
1000r/min																				
112M1	1.6	4.32	940	1.3	3.8	952	1.0	3.4	962	1.2	3.6	955	0.9	3.3	965	0.7	3.1	971	0.023	68
112M2	2.2	5.6	935	2.0	5.2	942	1.7	4.8	951	1.8	5.0	948	1.6	4.7	954	1.3	4.2	962	0.026	72
132M1	3.0	7.4	958	2.8	7.1	961	2.2	6.2	970	2.2	6.2	970	2.1	6.0	971	1.8	5.7	975	0.045	84
132M2	3.7	9.03	964	3.5	8.54	966	2.8	7.7	973	3.3	8.3	968	2.8	7.7	973	2.7	7.6	974	0.051	93
160M1	5.8	12.1	964	5.0	11.4	970	4.8	10.3	971	4.8	10.3	971	4.5	9.8	973	3.8	8.7	977	0.12	120
160M2	7.5	15.7	969	7.0	14.7	971	6.0	13.2	975	6.0	13.2	975	5.5	12.4	977	4.0	10.4	983	0.149	125
160L	11.0	22.3	967	10.0	20.7	971	8.0	17.2	977	8.0	17.2	977	7.5	16.6	978	5.9	14.3	983	0.190	192
180L	15.0	32.3	974	13.0	29.4	978	12.0	27.9	980	12.0	27.9	980	11.0	26.6	981	9.0	23.8	985	0.370	200
200L	21.0	43.2	975	18.5	39.5	978	17.0	37.2	980	17.0	37.2	980	15.0	34.6	982	11.0	29.8	987	0.63	290
225M	28.0	55.6	975	25.0	49.6	977	22.0	45.3	980	22.0	45.3	980	20.0	42.6	982	15.0	35.2	986	0.78	345
250M1	33.0	61.9	985	30.0	60.4	986.5	28.0	54.4	987	26.0	51.1	988	25.0	49.7	988	17.5	39.4	992	1.41	481
250M2	42.0	77.9	983	37.0	70.2	985	33.0	64.1	987	31.0	60.9	988	30.0	58.9	988	24.0	50.2	990	1.63	577
280S1	52.0	96.4	982	45.0	84.4	984	42.0	78.8	985	40.0	75.1	986	37.0	70.2	987	30.0	59.7	989	2.0	730
280S2	59.0	109.5	984	51.0	96.8	986	48.0	91.1	987	45.0	87.5	988	42.0	82.6	989	34.0	70.3	991	2.4	970
280M	70.0	128.4	983	62.0	115.1	985	55.0	104.4	987	52.0	99.9	987	47.0	92.5	989	37.0	77.4	991	2.8	970
315S	84.0	154.1	982	74.0	138.9	984	66.0	125.3	986	62.0	119.1	987	56.0	110.2	988	44.0	92.1	990	5.4	1061
315M	102.0	183.1	979	90.0	163.3	982	80.0	146.8	984	75.0	139.2	985	68.0	127.6	986	53.0	104.3	989	6.4	1102

（续）

工作方式	S4及S5									S4及S5									转动惯量 /(kg·m²)	重量 /kg
	150次/h									300次/h						600次/h				
	25%			40%			60%			40%			60%			60%				
机座号	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	功率 /kW	I_1 /A	n /(r/min)	最大转矩倍数	空载电流 /A	n /(r/min)		
750r/min																				
160L	7.5	17.8	723	7.0	16.6	725	5.8	15.0	729	6.0	15.3	729	5.5	14.6	730	3.8	12.4	736	0.19	160
180L	11.0	25.5	721	10.0	23.8	724	8.0	20.4	729	8.0	20.4	729	7.0	19.0	732	5.8	17.5	735	0.37	198
200L	15.0	35.4	729	13.0	32.5	732	12.0	30.9	734	12.0	30.9	734	11.0	29.6	735	8.0	26.3	739	0.63	275
225M	21.0	46.5	728	18.5	42.2	731	17.0	39.8	732	17.0	39.8	732	15.0	37.2	735	11.0	32.3	738	0.77	360
250M1	29.0	64.1	725	25.0	57.5	729	22.0	53.4	731	22.0	53.4	731	20.0	50.4	733	15.0	43.8	737	1.39	481
250M2	33.0	72.2	726	30.0	67.3	728	28.0	64.5	730	26.0	61.6	731	25.0	60.1	732	18.5	50.9	736	1.61	560
280S	42.0	88.7	736	37.0	84.8	738	33.0	74.6	739	33.0	74.6	739	30.0	69.7	740	24.0	62.6	742	2.3	771
280M	52.0	103.3	734	45.0	90.6	736	42.0	85.6	737	42.0	85.6	737	27.0	63.7	741	30.0	67.8	741	2.8	862
315S1	59.0	120.2	739	50.0	105.8	741	48.0	104.3	741	48.0	104.3	741	42.0	95.0	742	34.0	85.0	744	5.4	920
315S2	64.0	133.7	740	60.0	128.6	741	56.0	123.3	742	52.0	117.6	742	48.0	111.6	743	38.0	99.6	744	5.8	950
315M1	74.0	149.2	740	71.0	143.2	741	65.0	134.4	741	60.0	127.3	742	55.0	122.7	743	41.0	104.1	744	6.4	1108
355M2	100.0	201.6	743	95.0	196.4	743	82.0	176.2	744	78.0	169.9	744	70.0	161.1	745	60.0	147.9	745	14.1	1465
355L1	115.0	229.1	742	106.0	216.4	743	98.	205.3	744	95.0	198.9	744	85.0	185.1	744	70.0	165.7	745	15.8	1590
355L2	140.0	278.9	742	125.0	255.2	743	120.0	248.1	743	110.0	236.4	744	100.0	220.7	744	90.0	207.1	745	17.3	1665
400L1	195.0	375.2	741	180.0	350.5	742	170.0	335.1	742	150.0	303.1	743	135.0	283.4	744	130.0	276.5	744	22.8	2260
400L2	240.0	473.1	742	220.0	444.5	743	205.0	416.4	743	195.0	404.1	743	180.0	387.9	744	170.0	371.3	744	25.8	2360
600r/min																				
280S	33.0	76.6	591	30.0	72.3	592	28.0	69.5	592	26.0	66.5	592	25.0	64.9	593	17.0	56.4	595	3.2	650
280M	42.0	93.2	589	37.0	87.9	591	33.0	81.9	592	31.0	79.2	592	28.0	75.0	593	22.0	68.2	594	3.7	800
315S1	50.0	107.0	588	45.0	100.1	589	42.0	96.1	590	40.0	92.7	590	37.0	88.2	591	30.0	79.5	592	6.8	1028
315S2	54.0	117.1	588	50.0	111.3	589	46.0	105.2	590	42.0	100.1	591	40.0	96.7	591	31.0	85.8	593	7.3	1043
315M1	65.0	139.4	588	60.0	132.1	589	55.0	124.4	590	50.0	117.5	591	48.0	114.4	591	37.0	99.6	593	8.1	1117
355M2	80.0	165.1	593	72.0	152.4	594	65.0	143.1	594	60.0	135.7	595	55.0	127.9	595	41.0	111.0	596	14.2	1440
355L1	100.0	199.2	593	90.0	183.8	593	80.0	167.5	594	75.0	159.1	594	70.0	152.4	595	50.0	127.0	596	16.4	1580
355L2	120.0	242.0	593	110.0	227.5	594	95.0	204.2	594	90.0	196.0	595	80.0	184.1	595	60.0	157.2	596	18	1650
400L1	145.0	300.4	594	132.0	280.7	595	120.0	262.1	595	110.0	250.4	596	96.0	230.6	596	75.0	204.2	597	23.6	2260
400L2	185.0	383.3	594	165.0	350.9	595	150.0	332.1	595	140.0	318.7	596	120.0	293.8	596	95.0	263.1	597	25.2	2360

三、YZP 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 C-3、附表 C-4、附表 C-5）

附表 C-3 YZP 系列电动机 IM1001、IM1003 外形及安装尺寸 (mm)

（续）

机座号	安装尺寸及公差																			
	A	$A/2$①	B	C②		D③		D_1	E		E_1		F		G		H		K	
112M	190	95	140	70	±2	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.370	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	112	0 −0.5	12	+0.43 0
132M	216	108	178	89		38									33		132			
160M	254	127	210	108	±3	48			110	±0.430			14	0 −0.043	42.5		160		15	
160L			254																	
180L	279	139.5	279	121		55	+0.046 0	M36×3			82	0 −0.54			19.9		180			
200L	318	159	305	133		60		M42×3	140	±0.500	105		16		21.4		200		19	+0.52 0
225M	356	178	311	149	±4	65									23.9		225			
250M	406	203	349	168		70		M48×3					18		25.4		250		24	
280S	457	228.5	368	190		85	+0.054 0	M56×4	170		130	0 −0.63	20	0 −0.052	31.7		280	0 −1.0		
280M			419																	
315S	508	254	406	216		95		M64×4					22		35.2		315		28	
315M			457																	
355M	610	305	560	254		110		M80×4	210	±0.580	165		25		41.9		355			
355L			630																	
400L	686	343	710	280		130	+0.063 0	M100×4	250		200	0 −0.72	28		50		400		35	+0.62 0

（续）

机座号	外形尺寸											
	螺栓直径	*AA*	*AB*	*AC*	*AD*	*BB*	*BC*	*BL*	*HA*	*HD*	*HE*	*L*
112M	M10	50	240	245	160	220	20	177	15	330	270	640
132M		50	260	285		255	20	216	22	360	301	715
160M	M12	60	310	320	200	286	47	232	25	415	350	793
160L						330		276				837
180L		70	350	355		375	25	314		458	391	894
200L	M16	90	406	406	245	395	30	342	28	520	445	1020
225M		90	450	430		405	30	397		560	485	1090
250M	M20	95	510	500	315	505	43	447	30	620	535	1180
280S		100	570	545		527	58	436	32	655	577	1254
280M						578		487				1305
315S		110	635	620	370	575	42	513	35	725	652	1400
315M						625		563				1450
355M		120	735	695	440	725	41	669	38	850	736	1650
355L						795		739				1720
400L	M30	160	850	800		905	95	645	45	1100	925	1870

① 如 *K* 孔的位置度合格，则 *A*/2 可不考核。

② *C* 尺寸的极限偏差包括轴的窜动。

③ 圆锥形轴伸按 GB 1570 规定检查。

附表 C-4　YZP 系列电动机 IM3001、IM3003 外形及安装尺寸　（mm）

机座号	安装尺寸及公差																							外形尺寸		
	凸缘号	D①		D_1	E		E_1		F		G		M	N		P②	R③		S		螺栓直径	T_{max}	孔数/个	AD	L	LA
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 -0.036	27	0 -0.2	215	180	+0.014 -0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	M12	4	4	203	640	14
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 -0.013	300								218	715	
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 -0.043	42.5		300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	M16	5		265	793	18
160L																									837	
180L		55	+0.046 0	M36×2			82	0 -0.046			19.9													285	894	
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	+0.018 -0.018	450		±4.0					8	317	1020	20
225M		65									23.9													335	1090	

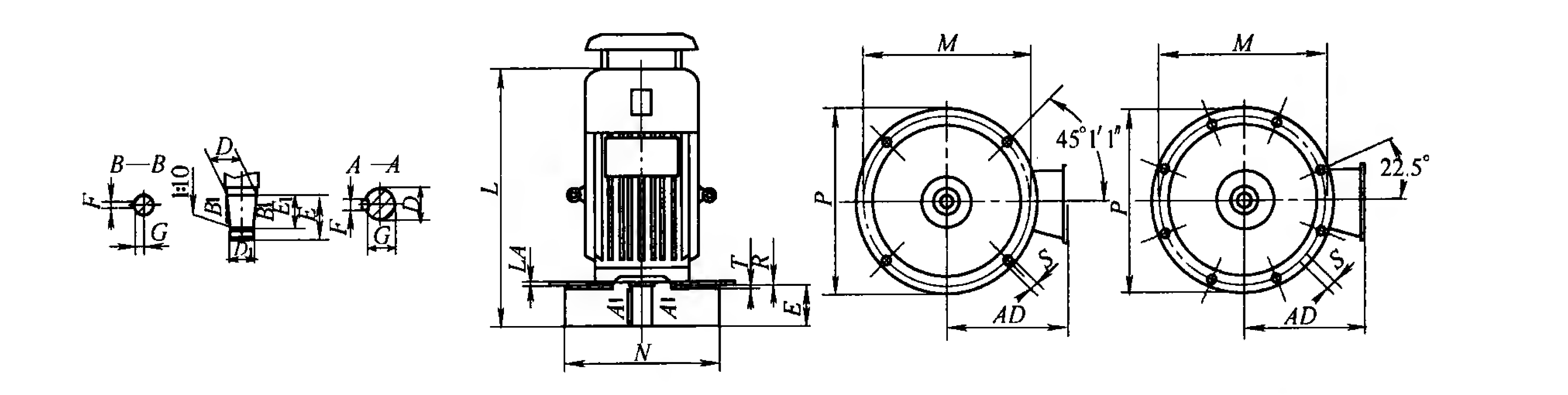
① 圆锥形轴伸按 GB 1570 规定检查。

② P 尺寸为最大极限尺寸。

③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的窜动。

附表 C-5 YZP 系列电动机 IM3011、IM3013 外形及安装尺寸

(mm)



机座号	安装尺寸及公差																				外形尺寸					
	凸缘号	D①		D_1	E		E_1		F		G		M	N		P②	R③		S		螺栓直径	T_{max}	孔数/个	AD	L	LA
112M	FF215	32	+0.018 -0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 -0.036	27	0 -0.2	215	180	+0.014 -0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	M12	4	4	203	640	14
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 -0.013	300								218	715	
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 -0.043	42.5		300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	M16	5		265	793	18
160L																									837	
180L		55	+0.046 0	M36×2			82	0 -0.046			19.9													285	894	
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	+0.018 -0.046	450		±4.0					8	317	1020	20
225M		65									23.9													335	1090	
250M	FF500	70	+0.054 0	M48×3					18		25.4		500	450	+0.020 -0.020	550								375	1180	22
280S		85		M56×4	170		130	0 -0.052	20	0 -0.052	31.7													455	1254	
280M																									1305	
315S	FF600	95		M64×4					22		35.2		600	550	+0.022 -0.028	660			24		M20	6		520	1400	25
315M																									1450	

① 圆锥形轴伸按 GB 1570 规定检查。

② P 尺寸为最大极限尺寸。

③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的窜动。

附录 D YBZ、YBZE、YBZS、YBZSE 系列电动机技术数据

一、YBZ、YBZE 系列电动机型谱（见附表 D-1）

附表 D-1 YBZ、YBZE 系列电动机型谱

机座号	额定功率-极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩倍数	最大转矩倍数	堵转电流倍数	转动惯量/(kg·m^2)	制动力矩/(N·m)	重量/kg	
									YBZ	YBZE
112M	2.2/kW-4P	1326	5.53	2.0	2.4	5.8	0.022	32	71	91
112M	1.5/kW-6P	933	4.52	2.4	2.4	5.0	0.022	32	71	98
132M1	3.7/kW-4P	1365	9.4	1.8	2.4	6.0	0.059	60	110	125
132M2	5.5/kW-4P	1378	13	2.0	2.4	6.4	0.064	60	120	136
132M1	2.2/kW-6P	937	5.9	2.4	2.4	5.4	0.059	60	110	120
132M2	3.7/kW-6P	932	8.8	2.4	2.5	5.6	0.064	60	120	134
160M1	7.5/kW-4P	1375	16	2.2	2.5	6.7	0.117	200	142	194
160M2	11/kW-4P	1402	23	2.2	2.5	6.8	0.148	200	155	218
160L	15/kW-4P	1382	32	2.2	2.5	6.8	0.198	200	173	228
160M1	5.5/kW-6P	946	12.5	2.5	2.5	5.4	0.117	200	142	188
160M2	7.5/kW-6P	930	15.9	2.4	2.5	6.0	0.147	200	155	198
160L	11/kW-6P	935	24.6	2.5	2.6	6.2	0.198	200	173	222
160L	7.5/kW-8P	715	18	2.5	2.6	5.6	0.198	200	173	210
180L	15/kW-6P	950	34	2.5	2.6	5.8	0.36	345	226	300
180L	11/kW-8P	710	25.8	2.5	2.6	5.6	0.36	345	226	310
200L	22/kW-6P	944	50	2.5	2.6	6.2	0.632	345	303	379
200L	15/kW-8P	710	33.1	2.5	2.7	6.2	0.632	345	303	380
225M	30/kW-6P	940	62	2.5	2.7	6.7	0.832	530	364	450
225M	22/kW-8P	710	45.8	2.5	2.7	6.2	0.832	530	364	468
250M	37/kW-6P	940	70.5	2.5	2.7	6.9	1.432	1000	483	560
250M	30/kW-8P	712	63.3	2.5	2.7	6.0	1.432	1000	483	640

二、YBZE 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 D-2、附表 D-3、附表 D-4）

附表 D-2　YBZE 系列电动机 IM1001、IM1003 外形及安装尺寸　（mm）

机座号	安装尺寸																				外形尺寸										
	A	A/2	B	C①		D		D_1	E		E_1	F		G		GD	H		K		AA	AB	AC	AD	BB	HA	BC	BL	HE	HD	L
112M	190	95	140	70	±2	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 −0.036	27	0 −0.20	8	112	0 −0.5	12	+0.43 0	50	240	240	200	230	18	20	137	295	360	560
132M	216	103	178	89		38								33			132				50	270	270		255	20	15	220	351	440	660
160M	254	127	210	108	±3	48			110	±0.43		14	0 −0.043	42.5		9	160		15		60	310	310	260	290		26	261	405	470	800
160L			254																						330			304			840
180L	279	139.5	279	121		55	+0.046 0	M36×3			82			19.9			180				72	355	355		380	25	25	360	445	520	930
200L	318	159	305	133		60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	200		19	+0.52 0	100	405	405	320	400		30	334	486	590	1010
225M	356	178	311	149	±4	65								23.9			225				90	450	420		410	28		364	521	620	1060
250M	406	203	349	168		70		M48×3				18		25.4		11	250		24		100	510	480		580	30		529	586	680	1380
250L			406																												

① C 尺寸的极限偏差包括轴的窜动。

附表 D-3 YBZE 系列电动机 IM3001、IM3003 外形及安装尺寸 （mm）

机座号	安装尺寸																					外形尺寸			
	D		D_1	E		E_1	F		G		GD	M	N		P	R①		S		T	凸缘孔数	AD	HD	LA	L
112M	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	4	4	200	290	14	570
132M	38							0 −0.043	33			265	230	+0.016 −0.013	300								310		660
160M	48			110	±0.43		14		42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	5		260	320	18	870
160L																									915
180L	55	+0.046 0	M36×3			82			19.9														340		1130
200L	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	400	350	±0.018	450		±4.0				8	320	390	20	1200
225M	65								23.9														400		1290

① R 为凸缘配合面至轴肩的距离。

附表 D-4　YBZE 系列电动机 IM3011、IM3013 外形及安装尺寸　（mm）

机座号	安装尺寸及公差																					外形尺寸			
	D		D_1	E		E_1	F		G		GD	M	N		P	R①		S		T	凸缘孔数	AD	HD	LA	L
112M	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	4	4	200	290	14	570
132M	38								33			265	230	+0.016 −0.013	300								310		660
160M	48			110	±0.43		14	0 −0.043	42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	5		260	320	18	870
160L																									915
180L	55	+0.046 0	M36×3			82			19.9														340		1200
200L	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	400	350	±0.018	450		±4.0				8	320	390	20	1280
225M	65								23.9														400		1370
250M	70		M48×2				18		25.4		11	500	450	±0.02	550								430	22	1660

① R 为凸缘配合面至轴肩的距离。

三、YBZ 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 D-5、附表 D-6、附表 D-7）

附表 D-5　YBZ 系列电动机 IM1001（IM1002）、IM1003（IM1004）外形及安装尺寸　　（mm）

（续）

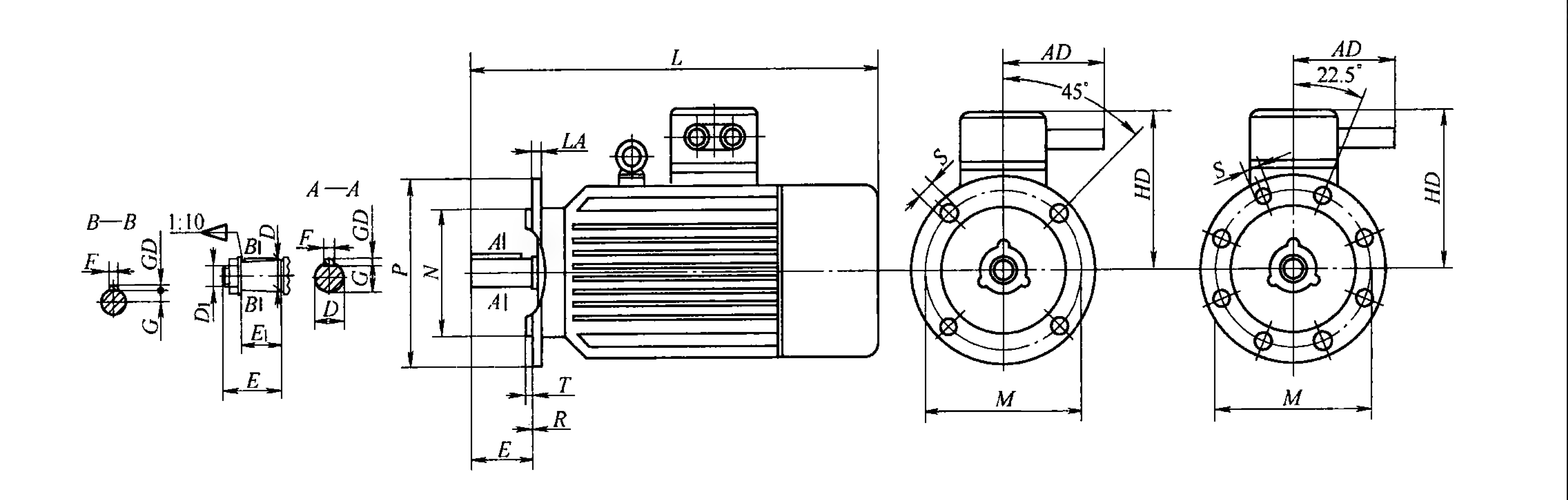
机座号	安装尺寸																				
	A	A/2	B	C①		CA	D		D_1	E		E_1	F		G		GD	H		K	
112M	190	95	140	70	±2	145	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	112	0 −0.5	12	+0.43 0
132M	216	103	178	89		190	38								33			132			
160M	254	127	210	108	±3	210	48			110	±0.43		14	0 −0.043	42.5		9	160		15	
160L			254			210															
180L	279	139.5	279	121		240	55	+0.046 0	M36×3			82			19.9			180			
200L	318	159	305	133		230	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	200		19	+0.52 0
225M	356	178	311	149	±4	258	65								23.9			225			
250M	406	203	349	168		385	70		M48×3				18		25.4		11	250		24	
250L			406			328															

机座号	外形尺寸											
	AA	AB	AC	AD	BB	HA	BC	BL	HE	HD	L	LC
112M	50	240	240	200	230	18	20	137	295	360	430	515
132M	50	270	270		255	20	15	220	351	440	530	617
160M	60	310	310	260	290		26	261	405	470	635	748
160L					330			304			665	792
180L	72	355	355		380	25	25	360	445	520	735	860
200L	100	405	405	320	400		30	334	486	590	800	948
225M	90	450	420		410	28		364	521	620	845	998
250M	100	510	480		580	30		529	586	680	1030	1182
250L												

① C 尺寸的极限偏差包括轴的窜动。

附表 D-6　YBZ 系列电动机 IM3001、IM3003 外形及安装尺寸

（mm）



机座号	安装尺寸及公差																					外形尺寸			
	D		D_1	E		E_1	F		G		GD	M	N		P	R①		S		T	凸缘孔数	AD	HD	LA	L
112M	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	4	4	200	290	14	430
132M	38								33			265	230	+0.016 −0.013	300								310		540
160M	48			110	±0.43		14	0 −0.043	42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	5		260	320	18	670
160L																									710
180L	55	+0.046 0	M36×3			82			19.9														340		880
200L	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	400	350	±0.018	450		±4.0				8	320	390	20	1000
225M	65								23.9														400		1150

① R 为凸缘配合面至轴肩的距离。

附表 D-7　YBZ 系列电动机 IM3011、IM3013 外形及安装尺寸

(mm)

机座号	安装尺寸及公差																					外形尺寸			
	D		D_1	E		E_1	F		G		GD	M	N		P	R①		S		T	凸缘孔数	AD	HD	LA	L
112M	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 -0.036	27	0 -0.2	8	215	180	+0.014 -0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	4	4	200	290	14	570
132M	38								33			265	230	+0.016 -0.013	300								310		660
160M	48			110	±0.43		14	0 -0.043	42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	5		260	320	18	870
160L																									915
180L	55	+0.046 0	M36×3			82			19.9														340		1130
200L	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	400	350	±0.018	450		±4.0				8	320	390	20	1200
225M	65								23.9														400		1190
250M	70		M48×3				18		25.4		11	500	450	±0.02	550								430	22	1240

① R 为凸缘配合面至轴肩的距离。

附录 E　YBZP、YBZPE 系列电动机技术数据

一、YBZP、YBZPE 系列电动机型谱（见附表 E-1）

附表 E-1　YBZP、YBZPE 系列电动机型谱

机座号	额定功率-极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩倍数	最大转矩倍数	堵转电流倍数	J_m/(kg·m²)	制动力矩/(N·m)	YBZP重量/kg	YBZPE重量/kg
112M	2.2/kW-4	1418	5.3	2.0	2.5	5.1	0.022	32	105	140
112M	1.5/kW-6	950	4.2	2.0	2.5	4.7	0.022			
132M1	3.7/kW-4	1400	9.0	1.8	2.5	6.0	0.059	60	175	230
132M2	5.5/kW-4	1440	13	2.0	2.5	6.4	0.064			
132M1	2.2/kW-6	950	6.5	2.4	2.5	5.4	0.059			
132M2	3.7/kW-6	900	11	2.4	2.5	5.6	0.064			
160M1	7.5/kW-4	1375	17	2.0	2.6	6.8	0.110	200	220	280
160M2	11/kW-4	1407	24	2.0	2.8	7.76	0.130			
160L	15/kW-4	1382	33	2.0	2.8	9.07	0.150			
160M1	5.5/kW-6	945	15	2.0	2.6	5.94	0.120			
160M2	7.5/kW-6	930	18	2.0	2.6	5.90	0.149			
160L	11/kW-6	935	26	2.0	2.6	6.22	0.190	200	220	280
160L	7.5/kW-8	715	22	2.0	2.8	5.09	0.190			
180L	22/kW-4	1463	43	2.0	2.8	8.25	0.250	345	250	320
180L	15/kW-6	976	33	2.0	2.8	8.21	0.370			
180L	11/kW-8	723	26.5	2.0	2.8	7.52	0.370			
200L	30/kW-4	1471	57	2.0	2.8	9.10	0.41		280	340
200L	22/kW-6	972	48	2.0	2.8	8.02	0.63			
200L	15/kW-8	728	38	2.0	2.8	6.79	0.63			
225M	37/kW-4	1465	72	2.0	3.0	8.9	0.51	530	320	380
225M	30/kW-6	974	61	2.0	2.8	8.76	0.78			
225M	22/kW-8	729	51	2.0	2.8	7.08	0.77			
250M1	45/kW-4	1464	85	2.0	2.8	7.98	0.89	940	480	590
250M2	55/kW-5	1465	102	2.0	2.8	8.22	1.03			
250M1	37/kW-6	983	70	2.0	2.8	8.84	1.41			
250M2	45/kW-6	982	84	2.0	2.8	8.82	1.63			
250M1	30/kW-8	738	66	2.0	2.8	8.13	1.39			
250M2	37/kW-8	739	84	2.0	2.8	9.21				

二、YBZP、YBZPE 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 E-2、附表 E-3、附表 E-4、附表 E-5）

附表 E-2　YBZP、YBZPE 系列电动机 IM1001（IM1002）、IM1003（IM1004）外形及安装尺寸（机座带底脚、端盖上无凸缘）

（mm）

（续）

机座号	安装尺寸及公差																		
	A	A/2①		B	C②		CA	D③		D_1	E		E_A		F		G		GD
112M	190	95	±0.5	140	70	±2	145	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8
132M	216	108		178	89		190	38									33		
160M	254	127	±0.75	210	108	±3	210	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		9
160L				254															
180L	279	139.5		279	121		240	55	+0.046 0	M36×3			82	0 −0.460			19.9		
200L	318	159		305	133		230	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		10
225M	356	178		311	149	±4	258	65									23.9		
250M	406	203	±1.0	349	168		385	70		M48×3					18		25.4		11

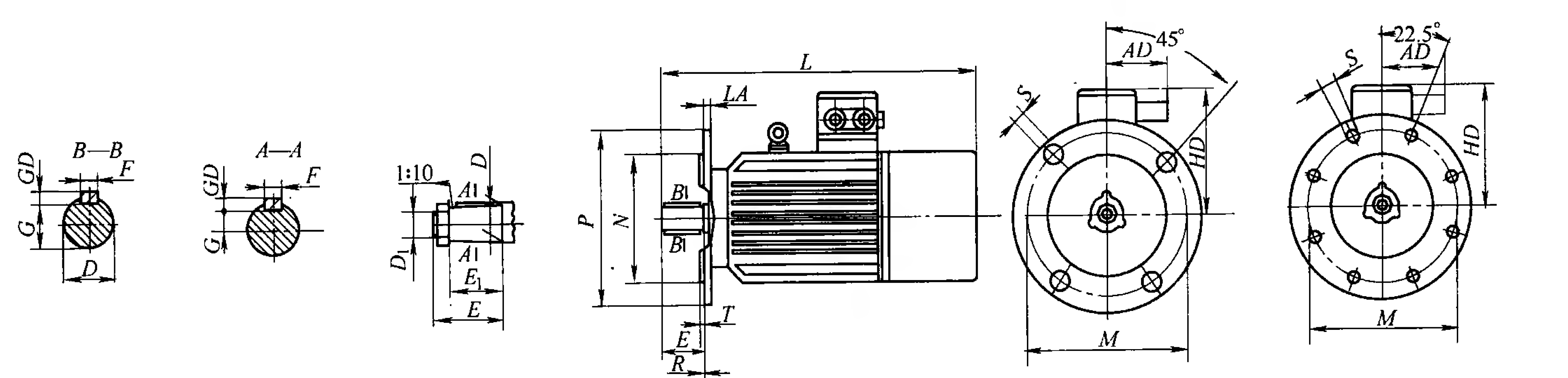
机座号	安装尺寸及公差					外形尺寸											
	H		K		螺栓	AA	AB	AC	AD	BB	BC	BL	HA	HD	HE	L	LC
112M	112	0 −0.5	12	+0.43 0	M10	50	240	240	200	230	20	137	15	360	295	430	515
132M	132					50	270	270		255	15	220	20	440	351	530	617
160M	160		15		M12	60	310	310	260	290	26	261		470	405	632	748
160L										330		304				665	792
180L	180					72	355	355		380	25	360	25	520	445	750	860
200L	200		19	+0.52 0	M16	100	405	405	320	400	30	334		590	486	800	948
225M	225					90	450	420		410	30	364	28	620	521	845	998
250M	250		24		M20	100	510	480		580	30	529	30	680	586	1030	1182

① 如 K 的位置度合格，则 A/2 可不作考核。

② C 尺寸的极限偏差包括轴的串动。

③ 圆锥形轴伸按 GB/T4722.1 检查。

附表 E-3　YBZP、YBZPE 系列电动机 IM3001、IM3003 外形及安装尺寸（机座不带底脚、端盖上有凸缘）　（mm）



机座号	安装尺寸及公差																							外形尺寸			
	凸缘号	D①		D_1	E		E_1	F		G		GD	M	N		P②	R③		S		螺栓直径	T_{max}	孔数/个	AD	HD	LA	L
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	M12	4	4	200	290	14	440
132M	FF265	38								33			265	230	+0.016 −0.013	300									310		555
160M	FF300	48			110	±0.43		14	0 −0.043	42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	M16	5		260	320	18	745
160L																											770
180L		55	+0.046 0	M36×3			82			19.9															340		880
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	400	350	+0.018 −0.018	450		±4.0					8	320	390	20	1000
225M		65								23.9															400		1150

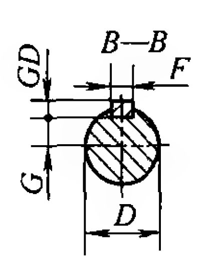
① 圆锥形轴承按 GB/T757 的规定进行检查。

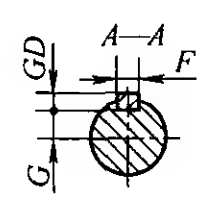
② P 尺寸为最大极限尺寸。

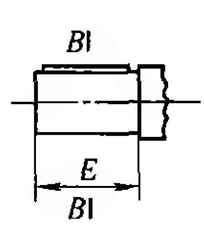
③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的串动。

附表 E-4　YBZP、YBZPE 系列电动机 IM1001（IM1002）、IM1003（IM1004）外形及安装尺寸

（机座带底脚、端盖上无凸缘、带制动器）　　　　（mm）







（续）

机座号	A	A/2[①] 基本尺寸	A/2[①] 极限偏差	B	C[②] 基本尺寸	C[②] 极限偏差	CA	D[③] 基本尺寸	D[③] 极限偏差	D_1	E 基本尺寸	E 极限偏差	E_1 基本尺寸	E_1 极限偏差	F 基本尺寸	F 极限偏差	G 基本尺寸	G 极限偏差	GD
112M	190	95	±0.5	140	70	±2	145	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 -0.036	27	0 -0.2	8
132M	216	108		178	89		190	38									33		
160M	254	127	±0.75	210	108	±3	210	48			110	±0.43			14	0 -0.043	42.5		9
160L				254															
180L	279	139.5		279	121		240	55	+0.046 0	M36×3			82	0 -0.460			19.9		
200L	318	159		305	133		230	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		10
225M	356	178		311	149	±4	258	65									23.9		
250M	406	203	±1.0	349	168		385	70		M48×3					18		25.4		11

机座号	H 基本尺寸	H 极限偏差	K 基本尺寸	K 极限偏差	K 螺栓	AA	AB	AC	AD	BB	BC	BL	HA	HD	HE	L
112M	112	0 -0.5	12	+0.43 0	M10	50	240	240	200	230	20	137	15	360	295	615
132M	132					50	270	270		255	15	220	20	440	351	790
160M	160		15		M12	60	310	310	260	290	26	261		470	405	1000
160L										330		304				1040
180L	180					72	355	355		380	25	360	25	520	445	1060
200L	200		19	+0.52 0	M16	100	405	405	320	400	30	334		590	486	1200
225M	225					90	450	420		410	30	364	28	620	521	1260
250M	250		24		M20	100	510	480		580	30	529	30	680	586	1420

（表头分组：第一张表中 A 至 GD 列为“安装尺寸及公差”；第二张表中 H、K 列为“安装尺寸及公差”，AA 至 L 列为“外形尺寸”。）

① 如 K 的位置度合格，则 A/2 可不作考核。

② C 尺寸的极限偏差包括轴的串动。

③ 圆锥形轴伸按 GB/T4722.1 检查。

附表 E-5　YBZP、YBZPE 系列电动机 IM3001、IM3003 外形及安装尺寸（机座不带底脚、端盖上有凸缘、带制动器）

（mm）

机座号	安装尺寸及公差																							外形尺寸			
	凸缘号	D[①]		D_1	E		E_1	F		G		GD	M	N		P[②]	R[③]		S		螺栓	T_{max}	孔数/个	AD	HD	LA	L
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	10	0 -0.036	27	0 -0.2	8	215	180	+0.014 -0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	M12	4	4	200	290	14	615
132M	FF265	38								33			265	230	+0.016 -0.013	300									310		790
160M	FF300	48			110	±0.43		14	0 -0.043	42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	M16	5		260	320	18	1000
160L																											1040
180L		55	+0.046 0	M36×3			82			19.9															340		1060
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105	16		21.4		10	400	350	+0.018 -0.018	450		±4.0					8	320	390	20	1200
225M		65								23.9															400		1260

① 圆锥形轴承按 GB/T757 的规定进行检查。

② P 尺寸为最大极限尺寸。

③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的串动。

附录 F　YGP 系列辊道电动机技术数据

一、YGP 系列电动机技术数据（见附表 F-1、F-2）

附表 F-1　YGP 系列电动机技术数据（额定电压 380V、额定频率 50Hz）

电动机型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	过载倍数/60s	功率因数 $\cos\varphi$	效率(%)	最大电流/A	转动惯量/($kg\cdot m^2$)	重量/kg
YGP112L	2	4	1409	4.1	2.7	0.88	83	11	0.0166	90
	1.1	6	933	2.7	2.8	0.77	80	7.6		
YGP132M1	3	4	1452	6	2.7	0.86	87	16.2	0.0251	110
	2	6	942	4.5	3.0	0.81	83	13.5		
YGP132M2	4	4	1455	7.9	2.8	0.87	88	22.2	0.0333	120
	3	6	931	6.9	3.0	0.80	82	20.7		
YGP160S	5.5	4	1469	10.8	3.0	0.86	89	32.4	0.101	180
	4	6	943	8.7	3.0	0.82	85	26.1		
YGP160L1	7.5	4	1465	14.3	2.6	0.88	89	37.2	0.114	210
	5.5	6	936	11.6	3.0	0.84	85	34.8		
YGP160L2	11	4	1466	20.8	2.7	0.88	90	56.2	0.14	230
	7.5	6	940	15.5	3.0	0.85	86	46.5		
YGP180L	11	6	933	22.6	2.7	0.86	85	61.1	0.294	300
	7.5	8	703	18.2	2.8	0.73	84	51		
YGP200L1	15	6	985	29.6	3.0	0.84	91	88.8	0.566	400
	11	8	733	23.5	3.0	0.78	90	70.5		
YGP200L2	18.5	6	986	37.3	3.0	0.82	91	112	0.632	420
	13	8	734	27.7	3.0	0.78	90	83.1		
YGP225M	22	6	986	40.6	3.0	0.88	92	122	1.1	580
	15	8	738	30.6	3.0	0.81	91	91.8		
YGP250M1	25	6	984	45.2	3.0	0.90	92	136	2.1	650
	18.5	8	737	36.5	3.0	0.84	91	110		
YGP250M2	30	6	983	54.3	3.0	0.90	92	163	2.57	680
	22	8	737	43.3	3.0	0.84	91	130		
YGP280L1	37	6	987	66.2	3.0	0.90	93	199	5.12	930
	30	8	740	56.4	3.0	0.86	92	170		

（续）

电动机型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	过载倍数/60s	功率因数 cosφ	效率(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP280L2	45	6	987	80.6	3.0	0.90	93	242	6.95	1150
	37	8	740	69.6	3.0	0.86	93	209		
YGP315S	55	6	985	101.7	3.0	0.87	93	306	9.6	1300
	45	8	739	86.9	3.0	0.84	93	261		
YGP315M1	75	6	983	135.4	3.0	0.89	93	407	11.4	1400
	55	8	738	104.2	3.0	0.85	93	313		
YGP315M2	90	6	985	165.3	3.0	0.88	93	496	12.5	18.6
	75	8	738	141.4	3.0	0.86	93	425		
YGP355L1	110	6	987	195.8	3.0	0.90	94	588	18.6	1700
	90	8	742	165.2	3.0	0.87	94	496		
YGP355L2	132	6	987	236.5	3.0	0.89	94	710	22.2	1750
	110	8	741	199.6	3.0	0.88	94	599		
YGP355L3	160	6	986	284.3	3.0	0.90	94	853	25.6	1800
	132	8	741	238.4	3.0	0.89	94	716		
YGP400L1	185	6	989	328.1	3.0	0.90	94	985	37.1	2000
	160	8	744	309	3.0	0.82	94	927		
YGP400L2	200	6	990	356	3.0	0.89	94	1068	42.6	2150
	185	8	744	369.2	3.0	0.80	94	1108		
YGP400L3	220	6	991	394.7	3.0	0.89	94	1185	51.7	2290
	200	8	744	382	3.0	0.83	94	1146		

附表 F-2　YGP 系列电动机技术数据（额定电压 380V、额定频率 30Hz）

电动机型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	过载倍数/60s	功率因数 cosφ	效率(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP200L1	7.5	6	583	15	3.0	0.85	89	45	0.566	400
	6.3	8	434	14	3.0	0.78	87	42		
	5.5	10	344	14.4	2.8	0.68	84	40.4		
	3	12	287	10.2	3.0	0.55	81	30.6		

（续）

电动机型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	过载倍数/60s	功率因数cosφ	效率(%)	最大电流/A	转动惯量/($kg \cdot m^2$)	重量/kg
YGP200L2	9	6	583	17.8	3.0	0.85	89	53.4	0.632	420
	7.5	8	433	16.5	3.0	0.79	87	49.5		
	6.3	10	345	17.1	3.0	0.66	85	51.3		
	4	12	288	14	3.0	0.53	81	42		
YGP225M	11	6	584	20.7	3.0	0.90	89	62.1	1.1	580
	9	8	439	19.4	3.0	0.79	88	58.2		
	7.5	10	346	20.4	3.0	0.64	86	61.2		
	5.5	12	287	17.8	3.0	0.56	83	53.4		
YGP250M1	15	6	584	27.9	3.0	0.90	90	83.7	2.1	650
	11	8	438	23	3.0	0.81	89	69		
	9	10	353	23.4	3.0	0.65	89	70.2		
	7.5	12	294	24.6	3.0	0.53	87	73.8		
YGP250M2	18.5	6	585	34.7	3.0	0.89	90	105	2.57	680
	15	8	438	31.1	3.0	0.81	89	93.3		
	11	10	353	27.8	2.8	0.67	89	77.9		
	9	12	294	28	3.0	0.55	87	84		
YGP280L1	22	6	588	40.9	3.0	0.89	91	123	5.12	930
	18.5	8	441	36.2	3.0	0.85	91	109		
	15	10	351	34.6	3.0	0.73	89	104		
	11	12	292	29.3	3.0	0.64	87	87.9		
YGP280L2	30	6	588	55.4	3.0	0.89	91	167	6.95	1150
	22	8	440	42.1	3.0	0.87	91	127		
	18.5	10	350	41.7	3.0	0.74	89	126		
	15	12	292	39.5	3.0	0.65	88	119		
YGP315S	37	6	583	69	3.0	0.88	91	207	9.6	1300
	30	8	439	59.3	3.0	0.84	91	180		
	22	10	351	47.9	3.0	0.77	90	144		
	18.5	12	292	43.7	3.0	0.71	89	132		
YGP315M1	45	6	582	82.6	3.0	0.89	91	248	11.4	1400
	37	8	439	72.8	3.0	0.84	91	219		

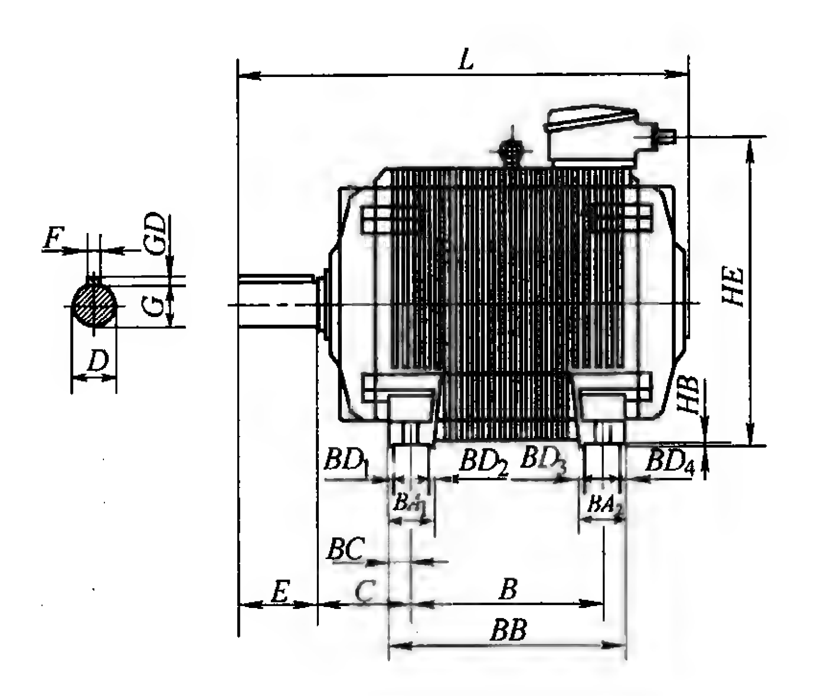
（续）

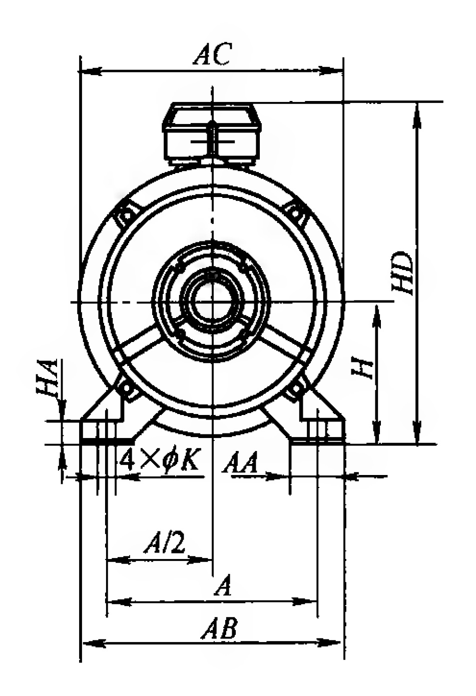
电动机型号	功率/kW	极数	额定转速/(r/min)	额定电流/A	过载倍数/60s	功率因数 cosφ	效率(%)	最大电流/A	转动惯量/(kg·m²)	重量/kg
YGP315M1	30	10	350	64.3	3.0	0.78	90	193	11.4	1400
	22	12	292	51.6	3.0	0.72	89	155		
YGP315M2	55	6	584	101.2	3.0	0.89	92	304	12.5	1490
	45	8	439	87.3	3.0	0.85	91	262		
	37	10	350	78.3	3.0	0.78	90	235		
	30	12	292	69.9	3.0	0.72	90	210		
YGP355L2	75	6	585	134.6	3.0	0.91	92	404	18.6	1700
	55	8	441	101.2	3.0	0.88	92	304		
	45	10	352	89.7	3.0	0.82	91	270		
	37	12	295	79.4	3.0	0.77	91	239		
YGP355L3	90	6	587	163.2	3.0	0.89	92	490	22.2	1750
	75	8	441	137.7	3.0	0.88	92	414		
	55	10	351	108.4	3.0	0.83	91	326		
	45	12	294	93.1	3.0	0.80	91	280		
YGP400L1	110	6	590	198.2	3.0	0.89	93	595	37.1	2000
	90	8	444	174.8	3.0	0.83	93	525		
	75	10	353	156.4	3.0	0.78	92	470		
	55	12	293	121.9	3.0	0.74	91	366		
YGP400L2	132	6	590	238.4	3.0	0.89	93	716	42.6	2150
	110	8	443	210	3.0	0.84	93	630		
	90	10	352	183	3.0	0.80	92	549		
	63	12	293	139	3.0	0.75	91	417		
YGP400L3	150	6	590	269.8	3.0	0.89	93	810	51.7	2290
	132	8	443	250	3.0	0.85	93	750		
	100	10	352	202.9	3.0	0.81	92	609		
	75	12	293	164.4	3.0	0.75	91	494		

注：最大电流是指电动机在输出最大转距时的电流。

二、YGP 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 F-3、附表 F-4）

附表 F-3 YGP 系列电动机 IM1001 外形及安装尺寸 （mm）





（续）

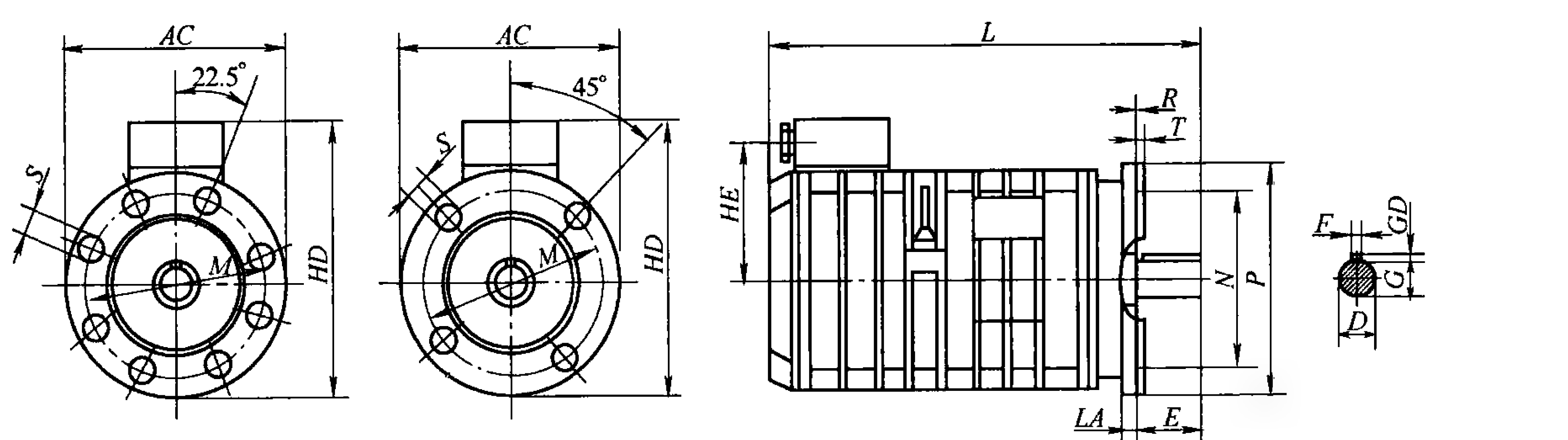
机座号	安装尺寸及公差																	
	A	*A*/2	*B*	*C*①		*D*		*E*		*F*		*G*		*GD*	*H*		*K*	
YGP112L	190	95	159	70	±2.0	32	+0.018 +0.002	80	±0.37	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	112	0 −0.5	12	+0.43 0
YGP132M	216	108	178	89		38						33			132			
YGP160S	254	127	178	108	±3.0	48		110	±0.43	14	0 −0.043	42.5		9	160		15	
YGP160L	254	127	254	108														
YGP180L	279	139.5	279	121		55	+0.030 +0.011			16		49		10	180			
YGP200L	318	159	305	133		65		140	±0.50	18		58		11	200		19	+0.52 0
YGP225M	356	178	311	149	±4.0	75				20	0 −0.052	67.5		12	225			
YGP250M	406	203	349	168		80		170		22		71		14	250		24	
YGP280M	457	228.5	419	190		85						76			280	0 −1.0		
YGP280L	457	228.5	457	190														
YGP315S	508	254	406	216		90	+0.035 +0.013			25		81			315		28	
YGP315M	508	254	457	216														
YGP355L	610	305	630	254		100		210		28		90		16	355			
YGP400L	686	343	710	280		110						100			400		35	

（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">机座号</th><th colspan="16">外 形 尺 寸</th></tr>
<tr><th>BC</th><th>BD1</th><th>BD2</th><th>BD3</th><th>BD4</th><th>BA1</th><th>BA2</th><th>BB</th><th>HB</th><th>HE</th><th>AA</th><th>AB</th><th>HA</th><th>AC</th><th>HD</th><th>L</th></tr>
<tr><td>YGP112L</td><td>19</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>59</td><td>59</td><td>197</td><td>4.5</td><td>267</td><td>60</td><td>230</td><td>20</td><td>230</td><td>330</td><td>460</td></tr>
<tr><td>YGP132M</td><td>23</td><td rowspan="4">15</td><td rowspan="4">15</td><td rowspan="4">15</td><td rowspan="4">15</td><td rowspan="4">75</td><td rowspan="4">75</td><td>236</td><td>4</td><td>302</td><td rowspan="3">70</td><td>264</td><td>23</td><td>260</td><td>355</td><td>495</td></tr>
<tr><td>YGP160S</td><td rowspan="2">27</td><td>236</td><td rowspan="3">8</td><td rowspan="2">353</td><td rowspan="2">306</td><td rowspan="2">25</td><td rowspan="2">306</td><td rowspan="2">420</td><td>557</td></tr>
<tr><td>YGP160L</td><td>310</td><td>677</td></tr>
<tr><td>YGP180L</td><td>29</td><td>350</td><td>422</td><td>81</td><td>360</td><td>30</td><td>355</td><td>484</td><td>705</td></tr>
<tr><td>YGP200L</td><td>46</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">20</td><td>109</td><td>122</td><td>398</td><td>6</td><td>472</td><td>104</td><td>415</td><td rowspan="2">35</td><td>420</td><td>420</td><td>860</td></tr>
<tr><td>YGP225M</td><td>52</td><td>120</td><td>120</td><td>415</td><td>5</td><td>523</td><td>114</td><td>470</td><td>468</td><td>580</td><td>920</td></tr>
<tr><td>YGP250M</td><td>51.5</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>22</td><td>125</td><td>125</td><td>450</td><td rowspan="3">6</td><td>568</td><td>120</td><td>504</td><td rowspan="3">40</td><td>504</td><td>631</td><td>981</td></tr>
<tr><td>YGP280M</td><td rowspan="2">69</td><td rowspan="2">24</td><td rowspan="2">24</td><td rowspan="2">24</td><td rowspan="2">24</td><td rowspan="2">142</td><td rowspan="2">142</td><td rowspan="2">580</td><td rowspan="2">624</td><td rowspan="2">124</td><td rowspan="2">560</td><td rowspan="2">561</td><td rowspan="2">710</td><td rowspan="2">1100</td></tr>
<tr><td>YGP280L</td></tr>
<tr><td>YGP315S</td><td rowspan="2">76</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">170</td><td rowspan="2">256</td><td rowspan="2">650</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">695</td><td rowspan="2">132</td><td rowspan="2">640</td><td rowspan="2">44</td><td rowspan="2">640</td><td rowspan="2">800</td><td rowspan="2">1265</td></tr>
<tr><td>YGP315M</td></tr>
<tr><td>YGP355L</td><td>80</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>175</td><td>175</td><td>790</td><td>8</td><td>775</td><td>168</td><td>740</td><td>45</td><td>722</td><td>865</td><td>1350</td></tr>
<tr><td>YGP400L</td><td>105</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>239</td><td>239</td><td>920</td><td>15</td><td>884</td><td>180</td><td>800</td><td>55</td><td>800</td><td>1020</td><td>1485</td></tr>
</table>

① C尺寸的极限偏差包括轴的窜动。

附表 F-4　YGP 系列电动机 IM3001 外形安装尺寸　　（mm）



机座号	安装尺寸及公差																			外形尺寸				
	D		E		F		G		GD	M	N		P	R[①]		S		T	凸缘孔数	AC	HD	HE	LA	L
YGP112L	32	+0.018 +0.002	80	±0.37	10	0 −0.036	27	0 −0.2	8	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	4	4	230	330	155	12	460
YGP132M	38						33			265	230	+0.016 −0.013	300							260	350	170		495
YGP160S	48		110	±0.43	14	0 −0.043	42.5		9	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0	5		306	420	193	14	570
YGP160L																								690
YGP180L	55	+0.030 +0.011			16		49		10						±4.0					355	480	242	16	705
YGP200L	65		140	±0.50	18		58		11	400	350	±0.018	450						8	450	570	272	18	860
YGP225M	75				20	0 −0.052	67.5		12											470	620	298	18	950
YGP250M	80		170		22		71		14	500	450	±0.02	550							550	680	318	22	990

① R 为凸缘配合面至轴肩的距离。

附录 G　YG_b^a 系列电动机技术数据

一、YGa 技术数据（见附表 G-1）

附表 G-1　YGa 技术参数

机座号	功率/kW	极数	转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩/(N·m)	堵转电流/A	定子电阻/Ω	定子电抗/Ω	转子电阻/Ω	转子电抗/Ω	励磁电抗/Ω	转动惯量/(kg·m²)
112L1	1.2	4	1280	2.8	22	13	6.36	7.5	5.7	5.79	236.6	0.0112
	0.8	6	840	2.2	22	8	9.01	9.27	8.7	9.4	201.8	
	0.45	8	620	1.7	17	5.8	15.22	13.94	26.39	15.3	200	
	0.32	10	480	1.7	16	4.5	17.88	16.82	32.3	19.02	165.4	
	0.25	12	370	1.6	13	3	20.01	23.04	47.16	28.43	181.8	
112L2	1.8	4	1280	4.1	36	19	3.53	5.2	7.9	4.32	183.3	0.0166
	1.2	6	835	3.2	34	12	5.57	6.72	12.13	6.96	153.8	
	0.75	8	620	2.6	28	9	7.96	9.11	17.41	10.17	133.3	
	0.5	10	480	2.4	25	7.5	11.38	12.04	23.48	13.95	123.6	
	0.3	12	400	2.1	22	5.3	12.5	16.33	33.1	20.39	125	
132M1	1.7	6	870	4.2	50	18	4.12	3.82	8.63	4.64	117.6	0.0251
	1.12	8	610	3.5	42	12	6.12	6.78	13.21	7.17	114	
	0.8	10	460	3.1	38	9	8.16	7.73	18.76	10.29	108.4	
	0.56	12	365	2.8	36	8	10.8	11	25.88	14.34	110.6	
	0.25	16	280	2.2	26	5.3	10.69	26.7	44.74	25	121.5	
132M2	2.4	6	850	5.2	71	24	3.07	3.14	7.19	3.88	100	0.0333
	1.6	8	600	4.9	60	17	4.28	4.97	9.79	5.32	85	
	1.12	10	460	4.3	56	13	5.78	5.66	14	7.62	80.9	
	0.85	12	365	4.2	53	11	8.39	8.74	20.85	11.52	88.7	
	0.4	16	270	3.1	36	7	7.08	18.93	32.2	17.9	87.6	
160S1	2.2	8	630	5.8	80	22	2.31	4.2	7.1	3.5	71.2	0.0646
	1.6	10	495	5.5	80	18	3.09	5.3	9.06	4.5	62.5	
	1.2	12	400	5.2	75	15	3.9	6.94	11.41	5.71	58.5	
	0.48	16	300	4.0	50	9.5	5.79	14.56	18.76	9.67	63.8	
160S2	3.0	8	650	8.1	110	30	1.62	3.14	5.37	2.66	55.1	0.0814
	2.2	10	495	7.0	110	24	2.2	4.1	7.07	3.52	49.2	
	1.6	12	400	6.7	105	20	2.56	5.33	8.82	4.43	45.1	
	0.75	16	300	5.6	75	13	3.71	10.58	13.72	7.08	46.7	

（续）

机座号	功率/kW	极数	转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩/(N·m)	堵转电流/A	定子电阻/Ω	定子电抗/Ω	转子电阻/Ω	转子电抗/Ω	励磁电抗/Ω	转动惯量/(kg·m²)
160L1	4.0	8	620	10.7	152	40	1.1	2.37	4.08	2.03	42.5	0.114
	3.0	10	495	9.8	150	31	1.48	3.17	5.5	2.75	38.7	
	2.2	12	400	9.0	140	26	1.74	3.69	6.62	3.33	34	
	1.1	16	300	7.7	105	18	2.36	7.7	10.02	5.18	34	
160L2	5.3	8	630	14.2	212	56	0.76	2.06	2.94	1.47	31.2	0.139
	3.8	10	490	12.1	203	40	1.09	2.45	4.29	2.15	30.3	
	3.0	12	400	11.9	198	34	1.24	3.05	5.13	2.58	26.4	
	1.6	16	300	10.0	145	24	1.81	6.1	7.93	4.12	27.3	
180L1	6.7	8	640	18	285	67	0.57	1.39	2.06	1.49	24.4	0.214
	5.0	10	485	15.9	252	48	0.78	1.7	3.14	2.3	25.4	
	4.0	2	400	15.4	258	42	1.16	2.1	4.54	2.8	28.1	
	2.2	16	300	15.1	195	30	1.58	6.75	3.83	2.91	20.7	
	0.75	20	230	9.3	120	16	2.32	7.35	9.95	7.71	27.9	
180L2	7.6	8	640	20.7	300	73	0.46	1.2	1.78	1.29	21	0.294
	6.0	10	470	18.9	328	60	0.68	1.54	2.87	2.1	23.6	
	5.0	12	400	19	320	53	0.85	1.96	3.56	2.63	21.6	
	3.0	16	300	18.6	255	38	1.2	5.58	3.18	2.41	17.2	
	1.2	20	230	12.1	150	21	1.8	5.88	7.81	6.06	22	
200L1	7.5	10	495	22	400	75	0.46	1.3	2.22	1.15	18.9	0.509
	6.3	12	400	20.9	400	63	0.52	1.5	2.69	1.39	16.6	
	4.2	16	295	20.1	320	50	0.67	2.19	3.8	1.99	14.4	
	2.1	20	240	16.2	255	36	1.0	4.32	5.44	2.94	15.8	
200L2	9.5	10	495	27	500	95	0.35	1.02	1.76	0.91	15.1	0.631
	8.0	12	400	26.7	500	80	0.37	1.18	2.14	1.11	13.2	
	5.3	16	295	25.2	425	63	0.52	1.73	3.03	1.58	11.5	
	3.2	20	240	21.2	340	48	0.76	3.37	4.26	2.29	12.5	
225M1	12	10	495	33	630	125	0.21	0.98	1.53	0.78	12.3	0.926
	10	12	410	32	635	100	0.25	1.14	1.86	0.94	10	
	6.7	16	290	30.7	540	80	0.32	1.44	2.31	1.16	8.4	
	4.2	20	240	27.6	450	63	0.38	2.94	2.96	1.54	8.5	

（续）

机座号	功率/kW	极数	转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩/(N·m)	堵转电流/A	定子电阻/Ω	定子电抗/Ω	转子电阻/Ω	转子电抗/Ω	励磁电抗/Ω	转动惯量/(kg·m²)
225M2	14	10	485	42	800	150	0.17	0.83	1.3	0.66	10.7	1.13
	12	12	415	39	800	130	0.21	0.95	1.55	0.79	9.2	
	8.5	16	290	38.3	680	100	0.22	1.12	1.82	0.90	6.5	
	5.6	20	240	35.2	560	80	0.28	1.93	2.29	1.19	6.6	
250M1	17	10	560	44.1	890	245	0.13	0.55	0.51	0.59	8.4	2.17
	13	12	470	41.7	850	230	0.15	0.62	0.62	0.70	7.3	
	9.0	16	340	42.2	707	150	0.20	0.94	1.1	1.0	6.3	
	6.3	20	265	43.6	602	105	0.21	1.53	1.49	1.19	5.8	
250M2	25	10	550	64	1140	352	0.88	0.39	0.38	0.42	6.0	2.85
	15	12	460	46	900	250	0.13	0.58	0.57	0.65	6.9	
	11	16	340	49.8	834	182	0.16	0.79	0.93	0.85	5.4	
	7.5	20	265	49.4	672	121	0.17	1.36	1.3	1.06	5.1	
280M1	27	10	560	71	1535	340	0.065	0.37	0.32	0.36	5.2	3.9
	22	12	460	67	1370	248	0.081	0.45	0.41	0.46	4.9	
	15	16	350	72	1240	185	0.083	0.62	0.51	0.57	3.7	
	10	20	260	70	1101	105	0.099	1.09	1.22	0.74	3.7	
280M2	33	10	560	85	1815	325	0.053	0.31	0.28	0.31	4.6	5.07
	25	12	465	79	1802	308	0.063	0.36	0.34	0.37	3.9	
	17	16	340	78	1412	172	0.073	0.58	0.64	0.55	3.5	
	13	20	275	92	1338	155	0.071	0.80	0.64	0.55	2.7	
315S	30	16	350	94	2635	367	0.036	0.35	0.276	0.21	3.3	8.9
	25	20	275	98	2591	280	0.047	0.44	0.348	0.26	2.9	
355L	45	16	350	122	4070	549	0.0271	0.24	0.183	0.16	2.8	18.2
	30	20	280	102	3028	374	0.040	0.35	0.272	0.58	2.9	
400M	60	16	355	212	5090	764	0.015	0.13	0.112	0.16	1.3	28.6
	45	20	285	212	4220	528	0.021	0.17	0.153	0.22	1.2	

二、YGb 技术数据（见附表 G-2）

附表 G-2 YGb 技术参数

机座号	功率/kW	极数	转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩/(N·m)	堵转电流/A	定子电阻/Ω	定子电抗/Ω	转子电阻/Ω	转子电抗/Ω	励磁电抗/Ω	转动惯量/(kg·m²)
112L1	1.2	4	1400	2.8	20	18	6.36	7.51	5.74	5.79	234	0.0112
	0.85	6	920	2.2	20	12	9.02	9.24	8.71	9.36	201.8	
	0.5	8	680	1.7	15	7.0	15.22	13.67	13.87	15.2	200	
	0.36	10	540	1.7	13	6	17.88	16.52	16.68	18.68	165.4	
	0.3	12	430	1.7	12	4.5	20.01	23.352	24.35	28.8	181.8	
112L2	1.8	4	1390	3.9	32	20	3.53	5.2	4.08	4.32	181.8	0.0166
	1.25	6	920	3.0	28	17	5.57	6.74	6.26	6.98	152.8	
	0.85	8	680	2.6	25	12	7.96	9.12	8.99	10.18	134.1	
	0.53	10	540	2.4	20	9	11.38	12.1	12.12	14.03	122.2	
	0.45	12	430	2.2	18	6.7	12.5	16.31	17.1	20.32	128.7	
132M1	1.8	6	920	4.1	42	25	4.12	3.82	4.45	4.63	119.6	0.0251
	1.25	8	690	3.4	36	16	4.83	5.13	5.22	5.45	84	
	0.85	10	540	2.9	30	12	8.16	7.69	9.69	10.25	107.3	
	0.63	12	450	2.8	26	9.5	8.72	9.05	11.11	11.86	88.4	
	0.36	16	320	2.6	22	6.7	8.74	21.88	19.17	20.52	100	
132M2	2.4	6	910	5.3	60	32	3.07	3.14	3.71	3.87	100.9	0.0333
	1.8	8	680	4.7	50	22	3.79	4.42	4.54	4.74	78.9	
	1.25	10	540	4.0	45	16	4.99	5.16	6.61	6.96	71.9	
	0.95	12	440	3.9	38	14	6.28	6.88	8.58	9.08	68.5	
	0.53	16	320	3.5	30	9.5	6.14	15.9	13.9	15.0	72.1	
160S1	2.5	8	680	6.2	71	30	2.31	4.2	3.66	3.5	71.9	0.646
	1.8	10	545	5.5	63	25	3.09	5.29	4.78	4.49	62.5	
	1.3	12	455	5.1	56	20	3.9	6.95	5.9	5.71	58.2	
	0.71	16	320	4.5	42	12	5.79	14.59	9.69	9.72	65.5	
160S2	3.4	8	680	8.2	100	42	1.53	3.14	2.77	2.66	55.1	0.0814
	2.4	10	545	7.1	90	32	2.2	4.09	3.65	3.52	49.4	
	1.8	12	455	6.7	80	26	2.56	5.31	4.55	4.42	45.2	
	1.0	16	320	6.1	60	17	3.71	10.6	7.08	7.09	47.5	

（续）

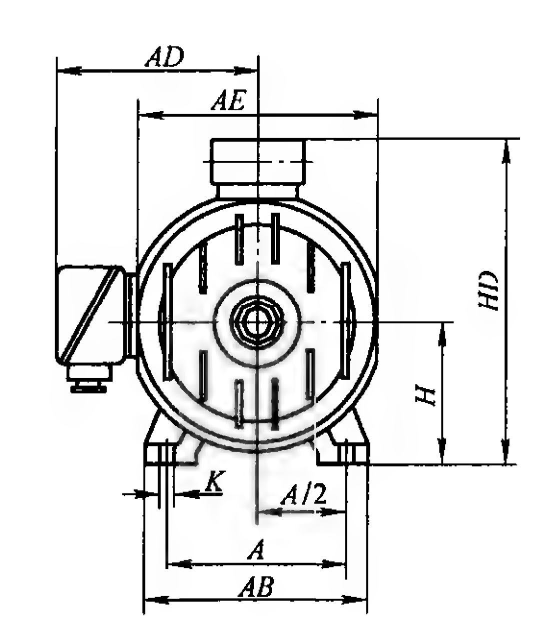
机座号	功率/kW	极数	转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩/(N·m)	堵转电流/A	定子电阻/Ω	定子电抗/Ω	转子电阻/Ω	转子电抗/Ω	励磁电抗/Ω	转动惯量/(kg·m²)
160L1	4.5	8	680	10.7	140	56	1.1	2.36	2.1	2.03	42.5	0.114
	3.2	10	545	9.2	120	42	1.48	3.16	2.84	2.76	38.8	
	2.6	12	450	9.2	110	36	1.86	3.96	3.42	3.33	34.4	
	1.5	16	330	8.5	80	24	2.36	7.73	5.18	5.2	34.7	
160L2	5.6	8	690	13.5	190	75	0.73	2.06	1.52	1.47	31	0.139
	4.2	10	545	11.9	160	53	0.98	2.46	2.22	2.15	30.2	
	3.4	12	450	12	150	48	1.24	3.05	2.65	2.58	26.5	
	2.0	16	330	11	110	30	1.81	6.1	4.09	4.12	27.6	
180L1	6.7	8	690	16	240	95	0.57	1.39	1.07	1.49	24.2	0.241
	5.3	10	555	14.7	200	45	0.78	1.69	1.62	2.3	25.1	
	4.2	12	440	14	200	60	1.16	2.53	2.34	3.37	27.3	
	2.5	16	340	12.5	150	40	1.58	6.73	1.98	2.9	20.1	
	1.0	20	270	9.1	90	25	2.32	7.51	5.14	7.71	27.6	
180L2	8.0	8	690	19	300	110	0.46	1.19	0.92	1.28	20.9	0.294
	6.3	10	545	17	250	56	0.68	1.54	1.48	2.1	23.2	
	5.3	12	440	17	260	75	0.85	1.96	1.84	2.62	21.1	
	3.2	16	340	16	190	50	1.2	5.57	1.64	2.4	16.7	
	1.4	20	270	16	130	35	1.8	5.88	4.03	6.06	21.7	
200L1	7.1	10	555	19	320	105	0.41	1.3	1.15	1.14	18.7	0.509
	6.3	12	460	20	320	90	0.49	1.5	1.39	1.39	16.4	
	4.2	16	340	19.5	250	63	0.67	2.18	1.96	1.99	14.2	
	2.2	20	275	18	180	45	1.00	4.33	2.81	2.94	15.8	
200L2	9.0	10	555	23	400	130	0.31	1.02	0.91	0.91	1.9	0.631
	8.0	12	460	24	400	115	0.37	1.19	1.11	1.1	13.1	
	5.3	16	340	24	340	80	0.51	1.73	1.56	1.58	11.3	
	3.2	20	275	23	250	60	0.71	3.37	2.2	2.29	12.4	
225M1	11	10	550	29	500	170	0.21	0.98	0.79	0.78	12.2	0.926
	9.0	12	460	29	490	125	0.26	1.14	0.96	0.94	10.9	
	6.7	16	340	29	450	105	0.31	1.44	1.19	1.16	8.3	
	4.2	20	275	30	340	85	0.38	2.49	1.53	1.54	8.38	

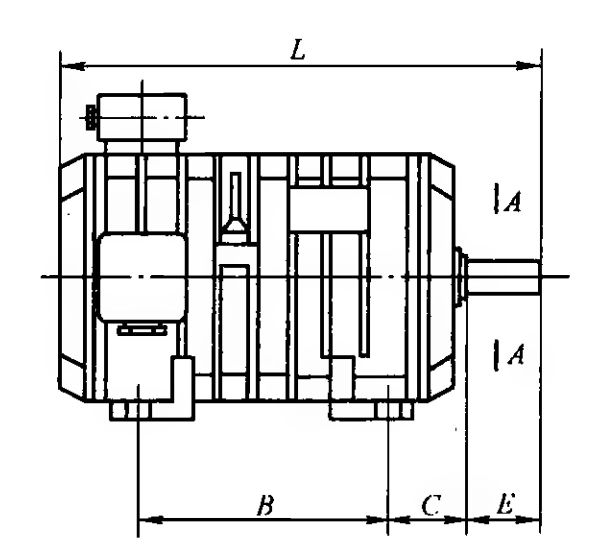
（续）

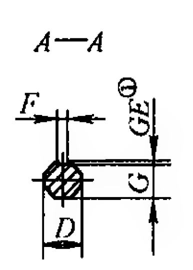
机座号	功率/kW	极数	转速/(r/min)	额定电流/A	堵转转矩/(N·m)	堵转电流/A	定子电阻/Ω	定子电抗/Ω	转子电阻/Ω	转子电抗/Ω	励磁电抗/Ω	转动惯量/($kg·m^2$)
225M2	14	10	550	36.5	630	210	0.17	0.83	0.67	0.66	10.6	1.13
	11	12	460	37	630	165	0.21	0.95	0.80	0.79	9.16	
	8.5	16	340	39	600	130	0.23	1.12	0.94	0.90	6.5	
	5.6	20	275	38	450	105	0.28	1.93	1.18	1.19	6.5	
250M1	17	10	560	43.2	728	255	0.13	0.55	0.36	0.59	8.5	2.17
	13	12	470	41	674	242	0.15	0.62	0.32	0.70	7.3	
	9.0	16	340	41.7	640	160	0.20	0.94	0.80	1.01	6.4	
	6.3	20	275	43.2	501	122	0.21	1.53	1.13	1.17	5.7	
250M2	25	10	550	62.1	1058	366	0.09	0.39	0.19	0.42	6.0	2.85
	15	12	470	45.3	777	267	0.13	0.58	0.4	0.66	6.9	
	11	16	340	49.2	760	190	0.16	0.8	0.68	0.86	5.5	
	7.5	20	275	49.1	600	140	0.17	1.36	0.99	1.04	5.1	
280M1	27	10	580	70	1250	372	0.065	0.37	0.19	0.36	5.2	3.9
	22	12	475	66	1188	271	0.081	0.45	0.29	0.47	4.9	
	15	16	355	72	1117	185	0.083	0.62	0.43	0.59	3.7	
	10	20	280	68	852	116	0.099	1.09	0.69	0.73	3.7	
280M2	33	10	575	82	1464	427	0.053	0.31	0.16	0.31	4.6	5.07
	25	12	475	78	1510	335	0.063	0.36	0.24	0.39	3.9	
	17	16	350	77	1126	223	0.073	0.58	0.40	0.56	3.5	
	13	20	280	92	1109	166	0.071	0.80	0.47	0.55	2.7	
315S	30	16	362	93	1821	418	0.036	0.35	0.14	0.21	3.25	8.9
	25	20	290	96	1658	307	0.047	0.44	0.18	0.26	2.9	
355L	45	16	362	119	2898	615	0.0271	0.24	0.348	0.16	2.8	18.2
	30	20	290	101	1982	384	0.040	0.35	0.14	0.24	2.9	

三、YG_b^a 系列电动机外形及安装尺寸（见附表 G-3、附表 G-4、附表 G-5）

附表 G-3 YG_b^a 系列电动机外形及安装尺寸（B3 型：机座带底脚，端盖无凸缘） （mm）







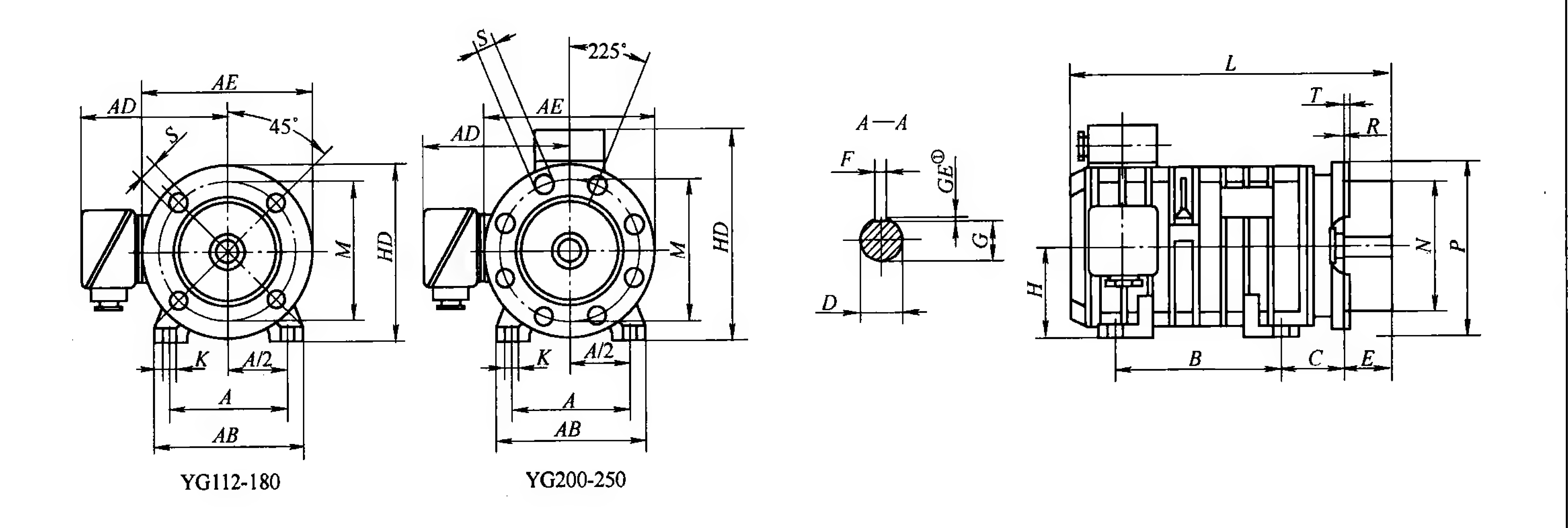
（续）

机座号	极数	安装尺寸及公差																		外形尺寸				
		A	A/2	B	C		D		E		F		G		H		K②			AB	AE	AD	HD	L
112L	4、6、8、10、12	190	95	159	70	±2.0	32	+0.018 +0.002	80	±0.37	10	0 −0.036	27	0 −0.20	112	0 −0.5	12	+0.430 0	ϕ1.0Ⓜ	235	240	205	240	445
132M	6、8、10、12、16	216	108	178	89		38						33		132					265	265	220	265	495
160S		254	127		108	±3.0	48		110	±0.43	14	0 −0.043	42.5		160		15		ϕ1.5Ⓜ	315	315	250	320	570
160L				254																				690
180L	8、10、12、16、20	279	139.5	279	121		55	+0.030 +0.011			16		49		180					360	360	295	365	730
200L	10、12、16、20	318	159	305	133		65		140	±0.50	18		58		200		19	+0.520 0		415	415	320	415	780
225M		356	178	311	149	±4.0	75				20	0 −0.052	67.5		225					470	470	335	465	835
250M		406	203	349	168		80		170		22		71		250		24		ϕ2.0Ⓜ	510	510	260	660	990
280M		457	228.5	419	190		85						76		280	0 −1.0				580	580	290	720	1100
280L				457																				
315S	16、20	508	254	406	216		90	+0.035 +0.013			25		81		315		28			640	645	325	860	
315M				457																				1200
355L		610	305	630	254		100		210		28		90		355					740	748	375	960	1400
400M		686	343		280		110						100		400		35			850	850	425	1040	1500

① GE = D − G，GE 极限偏差为 $\left(\begin{smallmatrix}+0.20\\0\end{smallmatrix}\right)$

② K 孔的位置度以轴伸的轴线为基准。

附表 G-4　YG_b^a 系列电动机外形及安装尺寸（B35 型：机座带底脚，端盖上有凸缘）　　（mm）



（续）

机座号	极数	安装尺寸及公差 A	A/2	B	C		D		E		F		G		H	
112L	4、6、8、10、12	190	95	159	70	±2.0	32	+0.018 +0.002	80	±0.37	10	0 −0.036	27	0 −0.20	112	0 −0.50
132M	6、8、10、12、16	216	108	178	89		38						33		132	
160S		254	127		108	±3.0	48		110	±0.43	14	0 −0.043	42.5		160	
160L				254												
180L	8、10、12、16、20	279	139.5	279	121		55	+0.030 +0.011			16		49		180	
200L	10、12、16、20	318	159	305	133		65		140	±0.50	18		58		200	
225M		356	178	311	149	±4.0	75				20	0 −0.052	67.5		225	
250M		406	203	349	168		80		170		22		71		250	

机座号	安装尺寸及公差 K②			M	N		P③	R④		S②			T		凸缘孔数	外形尺寸 AB	AE	AD	HD	L
112L	12	+0.43 0	φ1.0Ⓜ	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.43 0	φ1.5Ⓜ	4	0 −0.12	4	235	240	205	240	445
132M				265	230	+0.016 −0.013	300									265	265	220	265	495
160S	15		φ1.5Ⓜ	300	250		350		±3.0	19	+0.52 0		8			315	315	250	320	570
160L																				690
180L																360	360	295	365	730
200L	19	+0.52 0		400	350	±0.018	450		±4.0						8	415	415	320	415	780
225M																470	470	335	465	835
250M	24		φ2.0Ⓜ	500	450	±0.02	555					φ2.0Ⓜ				510	510	260	660	935

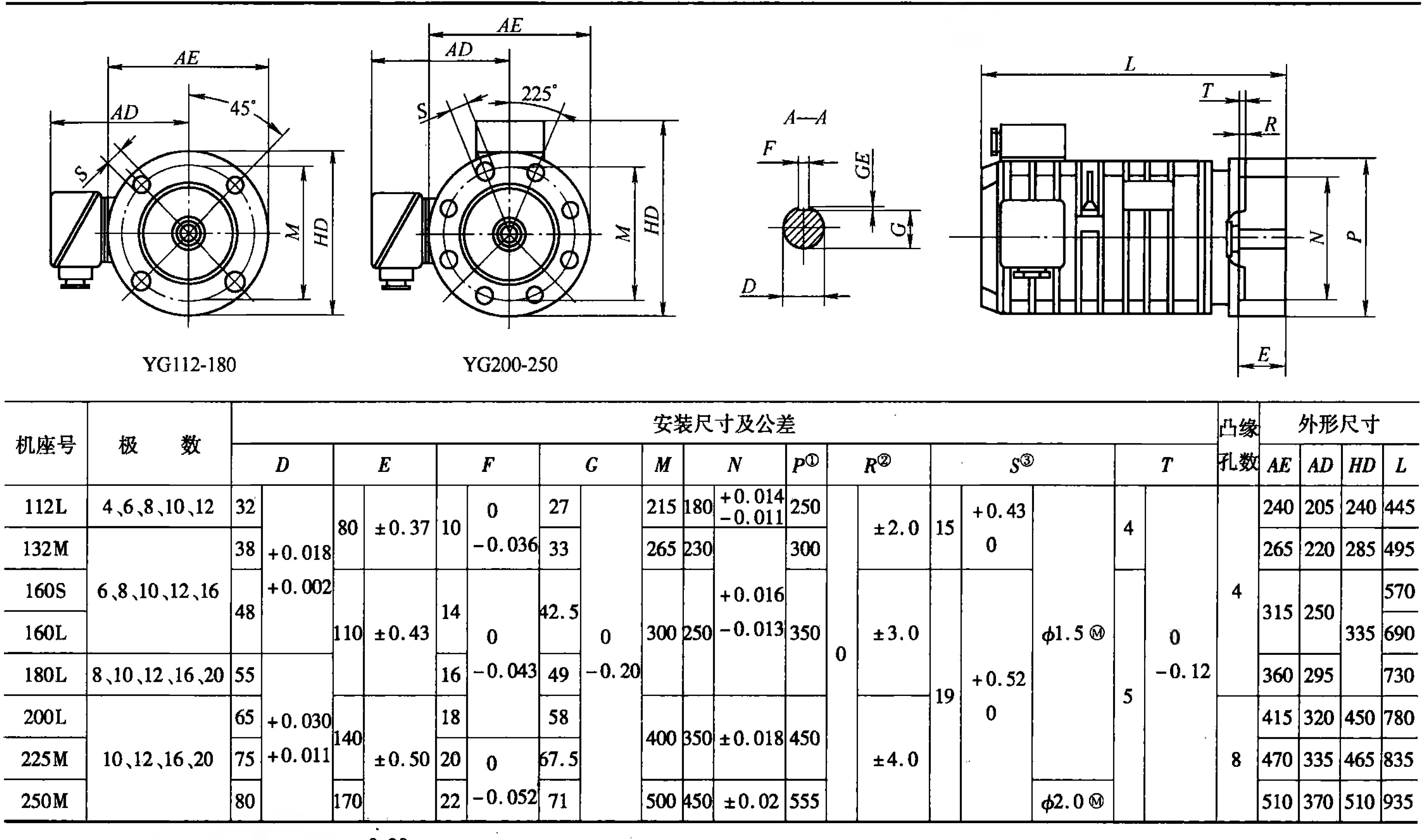
① GE = D − G，GE 极限偏差为 $\left(\begin{smallmatrix}+0.20\\0\end{smallmatrix}\right)$

② K 孔和 S 孔的位置度以轴伸的轴线为基准。

③ P 尺寸为最大极限值。

④ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

附表 G-5 YG_b^a 系列电动机外形及安装尺寸（B5 型：机座不带底脚，端盖有凸缘） （mm）



机座号	极数	安装尺寸及公差																			凸缘孔数	外形尺寸			
		D		E		F		G		M	N		P①	R②		S③			T			AE	AD	HD	L
112L	4、6、8、10、12	32	$^{+0.018}_{+0.002}$	80	±0.37	10	$^{0}_{-0.036}$	27	$^{0}_{-0.20}$	215	180	$^{+0.014}_{-0.011}$	250	0	±2.0	15	$^{+0.43}_{0}$	φ1.5Ⓜ	4	$^{0}_{-0.12}$	4	240	205	240	445
132M	6、8、10、12、16	38						33		265	230	$^{+0.016}_{-0.013}$	300									265	220	285	495
160S		48		110	±0.43	14	$^{0}_{-0.043}$	42.5		300	250		350		±3.0	19	$^{+0.52}_{0}$		5			315	250	335	570
160L																									690
180L	8、10、12、16、20	55	$^{+0.030}_{+0.011}$			16		49														360	295		730
200L	10、12、16、20	65		140	±0.50	18		58		400	350	±0.018	450		±4.0						8	415	320	450	780
225M		75				20	$^{0}_{-0.052}$	67.5														470	335	465	835
250M		80		170		22		71		500	450	±0.02	555					φ2.0Ⓜ				510	370	510	935

① $GE=D-G$，GE 极限偏差为 $\binom{+0.20}{0}$。

② P 尺寸为最大极限值。

③ R 为凸缘配合面至轴伸肩的距离。

④ S 孔的位置度以轴伸的轴线为基准。

附录 H　WZ 系列涡流制动器电动机技术数据

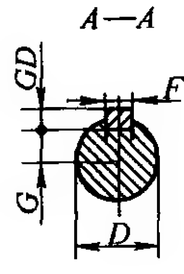
一、WZ 系列涡流制动器电动机技术数据（见附表 H-1）

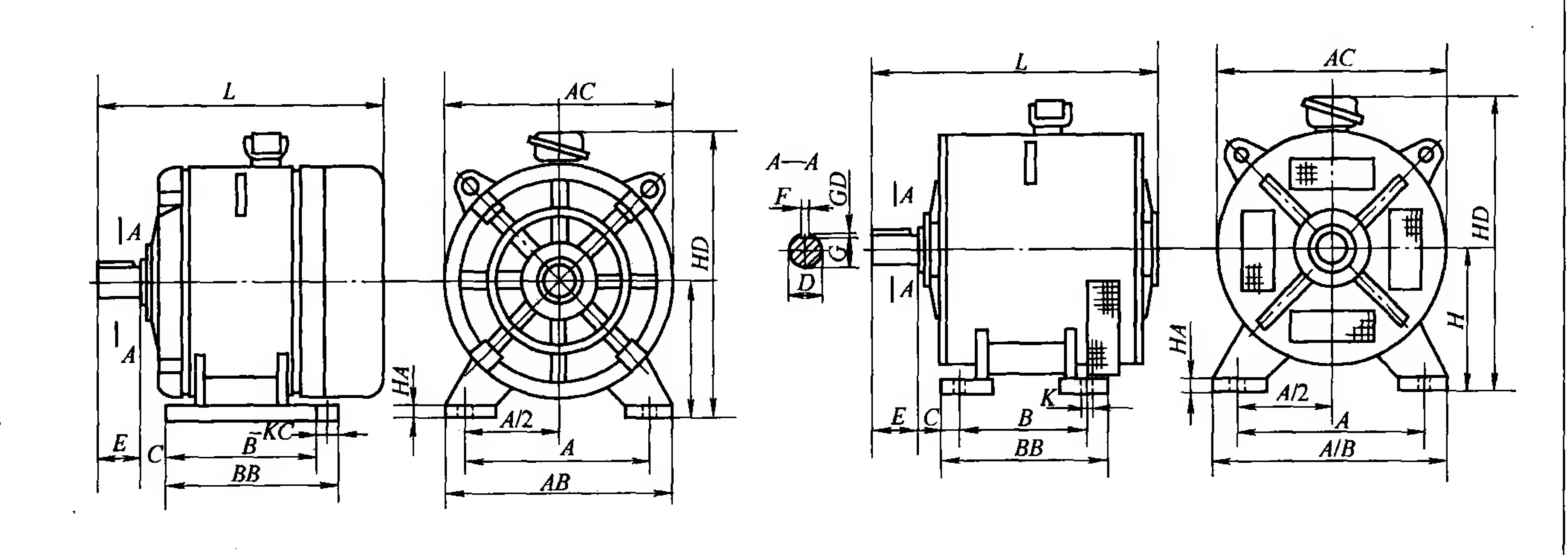
附表 H-1　WZ 系列电动机技术数据

机座号	100r/min 制动力矩 /(N·m)	1000r/min 最大制动力矩 /(N·m)	允许最大转速 /(r/min)	GD^2 /(kg·m^2)	匹配绕线转子电动机 机座号	S3 40%/kW 6P	8P	10P
160	44	132	3000	0.24	160M	5.5 7.5		
	64	196		0.24	160L	11	7.5	
180	118	245		0.4	180L	15	11	
200	170	390		0.7	200L	22	15	
225	245	540		1.2	225M	30	22	
250	390	785		1.95	250M	37	30	
280	620	1180	2250	3.5	280^{S}_{M}	45 55 75	37 45 55	37 45
315	980	1860		6.6	315		75 90	55 75
355	1180	2060	1800	10	355M			90
	1700	3040		11.5	355L			110 132
400	1896	3720		18	400L1			160
	2250	4410		20	400L2			200

二、WZ 系列涡流制动器电动机外形及安装尺寸（见附表 H-2）

附表 H-2　WZ 系列涡流制动器电动机外形及安装尺寸（IM1001 机座带底脚、端盖上无凸缘的涡流制动器）　（mm）





（续）

机座号	图形	H 基本尺寸	H 极限偏差	A 基本尺寸	A 极限偏差	A/2 基本尺寸	A/2 极限偏差	B 基本尺寸	B 极限偏差	左右B之差	C 基本尺寸	C 极限偏差	左右C之差	K 基本尺寸	K 极限偏差
160	a	160	0 -0.5	254	±1.05	127	±0.75	178	±1.05	1.05	28	±1.0	0.45	15	+0.43 0
180		180	0 -0.8	279		139.5		210			30				
200		200		318		159		254			28			19	+0.52 0
225		225		356		178		254			43				
250		250		406	±1.4	203	±1.0	279	±1.4	1.4	56	±1.5	0.6	24	
280		280	0 -1.0	457		228.5		305							
315		315		508		254		311			115			28	
355	b	355		610		305		349			121				
400		400		686	±1.75	343	±1.25	457	±1.75	1.75	102	±2.0	0.75	35	+0.62 0

（以上均为安装尺寸及公差）

机座号	螺栓直径	D 基本尺寸	D 极限偏差	E 基本尺寸	E 极限偏差	键及键槽 F 基本尺寸	F 极限偏差	GD 基本尺寸	GD 极限偏差	G 基本尺寸	G 极限偏差	AC	AB	HD	BB	L	HA
160	M12	42	+0.018 +0.002	82	±0.43	12	0 -0.043	8	0 -0.09	37	0 -0.2	317	300	372	234	385	13
180		48				14		9		42.5		350	355	412	250	410	
200	M16	55	+0.030 +0.011			16		10		49		388	400	458	300	440	16
225										49		422	450	505	300	490	
250	M20	60		105	±0.50	18		11	0 -0.11	53		445	500	550	335	560	25
280		70				20	0 -0.52	12		62.5		495	560	600	365	695	
315	M24	85	+0.035 +0.013	130		22		14		76		575	610	697	385	725	
355		100		160		28		16		90		645	700	760	420	880	35
400	M30	110								100		730	800	816	550	1050	

（螺栓直径至G列为安装尺寸及公差；AC至HA为外形尺寸）

附录 I　YGP 系列电动机铁心及绕组数据（见附表 I）

附表 I　YGP 系列电动机铁心及绕组数据

型　号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP112L-4	2	170	115	145	36	36	1 - ϕ1.12	3.6	单层交叉式	单连 1-8 双连 1-9	1Y	32	48	90	50
YGP112L-6	1.1					52	1 - ϕ0.95	3	单层链式	1-6					
YGP132M1-4	3	210	136	100	36	72	1 - ϕ1.12	6.5	双层叠绕组	1-9	2Y	26	60	80	
YGP132M2-4	4			140		54	1 - ϕ1.30	7.8						92	
YGP132M1-6	2		148	130	45	38	2 - ϕ1.0	7		1-8	1Y	41		87	
YGP132M2-6	3			155		30	1 - ϕ1.12 1 - ϕ1.18	3.8 4.1						96	
YGP160S-4	5.5	240	165	140	36	46	2 - ϕ1.0	8.6		1-9	2Y	28	67	155	
YGP160L1-4	7.5			180		38	2 - ϕ1.12	10						175	
YGP160L2-4	11			235		28	2 - ϕ1.3	11.2						187	
YGP160S-6	4			160	45	24	2 - ϕ1.25	7.9		1-8	1Y	42		165	
YGP160L1-6	5.5			240		18	2 - ϕ1.5	10.2						193	
YGP160L2-6	7.5			280		14	1 - ϕ1.30 2 - ϕ1.40	11.1						204	
YGP180L-6	11	280	210	260	45	12	1 - ϕ1.25 3 - ϕ1.30	2.8 9.2		1-8		42	80	300	
YGP180L-8	7.5			260	45	14	3 - ϕ1.40	11.5		1-7				300	

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP200L1-6	7.5	327	235	240	54	48	1 - ϕ1.5	18.2	双层叠绕组	1-9	3Y	44	85	431	30
YGP200L2-6	9			300		40	1 - ϕ1.12 1 - ϕ1.18	9.7 11.5		1-9	3Y			461	
YGP200L1-8	6.3			240		36	1 - ϕ1.18 1 - ϕ1.25	7.8 8.7		1-7	2Y	50	85	434	
YGP200L2-8	7.5			300		30	2 - ϕ1.06 1 - ϕ1.12	12 6.7						466	
YGP200L1-10	5.5			240		40	1 - ϕ1.12 1 - ϕ1.18	7.4 8.3		1-6	2Y	46		435	
YGP200L2-10	6.3			300		32	1 - ϕ1.25 1 - ϕ1.3	8.6 9.5						464	
YGP200L1-12	3			240		76	1 - ϕ1.18	14.8		1-5	3Y			434	
YGP200L2-12	4			300		58	2 - ϕ0.95	17.1						463	
YGP200L1-6	15			240		26	1 - ϕ1.4 1 - ϕ1.5	8.9 10.3		1-9	3Y	44		426	50
YGP200L2-6	18.5			300		20	2 - ϕ1.3 1 - ϕ1.4	13.4 7.54						460	
YGP200L1-8	11			240		22	2 - ϕ1.25 1 - ϕ1.3	11 6		1-7	2Y	50		430	
YGP200L2-8	13			300		18	2 - ϕ1.18 2 - ϕ1.25	9 10.5						464	

（续）

型　　号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP225M-6	11	368	260	280	72	30	2 − ϕ1.18	21.4	双层叠绕组	1-12	3Y	58	85	580	30
YGP225M-6	22					16	2 − ϕ1.30 1 − ϕ1.40	14.1 8.2							50
YGP225M-8	9					22	2 − ϕ1.4	20.1		1-9	2Y				30
YGP225M-8	15	368	260	280		14	4 − ϕ1.25	20.4		1-9	2Y	58	85	580	50
YGP225M-10	7.5				54	30	1 − ϕ1.18 2 − ϕ1.25	7.0 15.7		1-6	2Y	46			30
YGP225M-12	5.5					54	2 − ϕ1.12	21.6		1-5	3Y				30
YGP250M1-6	25	400	285	280	72	32	2 − ϕ1.25	26.3		1-11	6Y	58	100	600	50
YGP250M1-6	15					52	1 − ϕ1.40	26.8						630	30
YGP250M2-6	30			330		28	1 − ϕ1.30 1 − ϕ1.40	13.7 15.9						600	50
YGP250M2-6	18.5					42	1 − ϕ1.06 1 − ϕ1.12	14.4 16.0						630	30
YGP250M1-8	18.5			280		26	2 − ϕ1.40	25.2		1-9	4Y			600	50
YGP250M1-8	11					40	1 − ϕ1.06 1 − ϕ1.12	11.1 12.4						630	30
YGP250M2-8	22			330		22	1 − ϕ1.18 2 − ϕ1.25	8.6 19.4						600	50
YGP250M2-8	15					32	2 − ϕ1.25	27.4						630	30

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP250M1-10	9	400	285	280	54	28	$1-\phi1.0$ $4-\phi1.25$	4.97 31.1	双层叠绕组	1-6	2Y	46	100	600	30
YGP250M2-10	11			330		24	$5-\phi1.30$	39.8						630	
YGP250M1-12	7.5			280		46	$2-\phi1.12$ $2-\phi1.0$	19.4 15.6		1-5	3Y			600	
YGP250M2-12	9			330		40	$1-\phi1.40$ $2-\phi1.30$	14.8 25.7		1-5	3Y			630	
YGP280M-4	60	445	300	300		16	$3-\phi1.5$ $4-\phi1.6$	31.6 47.9		1-14	4Y	50	110	715	55
YGP280L1-6	37		325	300	72	26	$2-\phi1.25$ $1-\phi1.3$	23.3 12.6		1-11	6Y	58		930	50
YGP280L2-6	45			360		22	$1-\phi1.3$ $2-\phi1.4$	11.8 27.4						1150	
YGP280L1-6	22			300		40	$2-\phi1.25$	35.5						930	30
YGP280L2-6	30			360		32	$2-\phi1.4$	39.4						1150	
YGP280L1-8	30			300	72	44	$1-\phi1.12$ $2-\phi1.18$	14.8 32.8		1-9	8Y	86		930	50
YGP280L2-8	37			360		36	$3-\phi1.3$	56.4						1150	
YGP280L1-8	18.5			300		68	$2-\phi1.12$	45.8						930	30
YGP280L2-8	22			360		60	$1-\phi1.25$ $1-\phi1.18$	28.0 25.1						1150	

（续）

型　　号	额定功率 /kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量 /kg	频率 /Hz
		外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重 /kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP280L1-10	15	445	325	300	60	52	2 − ϕ1.18 1 − ϕ1.12	29.5 13.4	双层叠绕组	1-6	5Y	64	110	930	30
YGP280L2-10	18.5			360		44	1 − ϕ1.00 3 − ϕ1.12	10.2 38.3						1150	
YGP280L1-12	11			300	72	30	3 − ϕ1.3	37.2		1-7	3Y			930	
YGP280L2-12	15			360		24	4 − ϕ1.3	44.8						1150	
YGP315S-6	55	520	375	290		22	7 − ϕ1.25	76		1-11	6Y	58		1300	50
YGP315M1-6	75			380		18	3 − ϕ1.4 4 − ϕ1.5	38 57						1400	
YGP315M2-6	90			450		14	8 − ϕ1.5	98						1490	
YGP315S-6	37			290		36	3 − ϕ1.3 1 − ϕ1.4	56 22						1300	30
YGP315M1-6	45			380		30	4 − ϕ1.5	95						1400	
YGP315M2-6	55			450		24	5 − ϕ1.5	105						1490	
YGP315S-8	45		390	290		36	1 − ϕ1.4 2 − ϕ1.5	20 45		1-9	8Y	86		1300	50
YGP315M1-8	55			380		30	1 − ϕ1.3 3 − ϕ1.4	17 58						1400	
YGP315M2-8	75			450		24	4 − ϕ1.5	78						1490	
YGP315S-8	30			290		56	2 − ϕ1.4	61						1300	30

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP315M1-8	37	520	390	380	72	44	1－φ1.0 2－φ1.4	15 56	双层叠绕组	1-9	8Y	86	110	1400	30
YGP315M2-8	45			450		38	2－φ1.18 2－φ1.25	39 43						1490	
YGP315S-10	22			290	90	34	1－φ1.3 2－φ1.4	19 44		1-9	5Y	72		1300	30
YGP315M1-10	30			380		26	2－φ1.3 2－φ1.4	34 40						1400	
YGP315M2-10	37			450		44	2－φ1.5	85		1-9	10Y			1490	30
YGP315S-12	18.5			290		50	2－φ1.4	59		1-7	6Y	106		1300	30
YGP315M1-12	22			380		40	2－φ1.5	65						1400	
YGP315M2-12	30			450		32	2－φ1.4 1－φ1.5	51 29						1490	
YGP355L1-6	110	590	450	420	72	14	12－φ1.25	108		1-11	6Y	58	130	1700	50
YGP355L2-6	132			460		12	11－φ1.3 2－φ1.25	99 17						1750	
YGP355L3-6	160			500		11	11－φ1.5	120						1800	
YGP355L2-6	75			460		22	6－φ1.3 1－φ1.25	100 15						1750	30
YGP355L3-6	90			500		18	5－φ1.5 2－φ1.4	99 35						1800	

（续）

型　号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP355L1-8	90	590	450	420	72	22	5－φ1.3 2－φ1.25	70 26	双层叠绕组	1-9	8Y	86	130	1700	50
YGP355L2-8	110			460		20	1－φ1.3 6－φ1.4	14 92						1750	
YGP355L3-8	132			500		18	1－φ1.3 6－φ1.5	12 100						1800	
YGP355L2-8	55			460		36	2－φ1.3 2－φ1.4	50 58						1750	30
YGP355L3-8	75			500		30	4－φ1.5	110						1800	
YGP355L2-10	45			460	90	40	3－φ1.3	92		1-9	10Y	72		1750	30
YGP355L3-10	55			500		36	3－φ1.4	102						1800	
YGP355L2-12	37			460		28	3－φ1.4 1－φ1.3	75 21		1-7	6Y	106		1750	30
YGP355L3-12	45			500		26	3－φ1.25 2－φ1.3	56 40						1800	
YGP400L1-6	185	650	480	520	72	10	16－φ1.4	142		1-11	6Y	58	285	2060	50
YGP400L2-6	200			560		9	16－φ1.5	153.5						2200	
YGP400L3-6	220			600		8	18－φ1.5	160.5						2400	
YGP400L1-6	110			520		16	9－φ1.5	146.2						2060	30
YGP400L2-6	132			560		14	5－φ1.5 6－φ1.4	74.3 77.7						2200	
YGP400L3-6	150			600		13	11－φ1.5	159						2400	

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心			定子绕组							铸铝转子		电机重量/kg	频率/Hz
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	冲片槽数	冲片内径/mm		
YGP400L1-8	160	650	480	520	72	14	5－φ1.5 6－φ1.4	66 69	双层叠绕组	1-9	8Y	86	285	2060	50
YGP400L2-8	185			560		12	2－φ1.4 10－φ1.5	20.7 119						2200	
YGP400L3-8	200			600		12	12－φ1.5	149						2400	
YGP400L1-8	90			520		24	6－φ1.5	135.2						2060	30
YGP400L2-8	110			560		22	5－φ1.4 2－φ1.5	94.6 43.4						2200	
YGP400L3-8	132			600		20	7－φ1.5	146						2400	
YGP400L3-8	52			600		38	2－φ1.4 2－φ1.5	71 81		1-9	4Y			2400	15.1
YGP400L3-8	71.5			600		28	5－φ1.4 1－φ1.3	129 23							20.7
YGP400L1-10	75		510	520	90	28	1－φ1.4 3－φ1.5	27.5 94.5		1-9	10Y	72	355	2060	50
YGP400L2-10	90			560		26	3－φ1.3 2－φ1.4	70 54						2200	
YGP400L3-10	100			600		24	5－φ1.4	130						2400	
YGP400L1-12	55			520		22	1－φ1.4 4－φ1.5	20.2 92.8		1-7	6Y	106		2060	30
YGP400L2-12	63			560		20	1－φ1.5 5－φ1.4	22.4 97.6						2200	
YGP400L3-12	75			600		18	5－φ1.4 2－φ1.3	92.2 31.8						2400	
YGP450L-8	130	740	540	700	72	20	6－φ1.4 4－φ1.5	123.5 94.5		1-9	4Y	86	340	4000	17.2

附录 J　YZP 系列电动机定、转子数据（见附表 J-1）

附表 J-1　YZP 系列起重及冶金用三相异步电动机铁心及绕组数据（380V，50Hz）

型　号	额定功率/kW	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	定子铁心 槽数	定子绕组 每槽导体数	定子绕组 线规 $n-\phi$/mm	定子绕组 铜重/kg	定子绕组 绕组型式	定子绕组 节距 y	定子绕组 联结	转子冲片槽数	电机重量/kg
YZP100-4	2.2	155	102	100	36	40	$1-\phi0.75/1-\phi0.71$	1.4/1.2	单层交叉	1-8/1-9	1Y	28	27.5
YZP112M1-4	3	182	127	90	36	32	$2-\phi0.71$	2.3	交叉	1-8/1-9	1Y	28	52
YZP112M1-6	1.5			100	45	40	$1-\phi0.8$	2	双叠	1-8/1-9	1Y	41	52
YZP112M2-4	4			115	36	26	$2-\phi0.8$	2.4	交叉	1-8	1Y	28	55
YZP112M2-6	2.2			115	45	34	$1-\phi0.9$	2.2	双叠	1-8	1Y	41	55
YZP132M1-4	5.5	210	136	120	36	52	$1-\phi0.8/1-\phi0.85$	2.45/2.82	双叠	1-9	2Y	28	68
YZP132M1-6	3	210	148	110	45	48	$1-\phi1.12$	3	双叠	1-8	1Y	41	64
YZP132M2-4	6.3	210	136	130	36	30	$2-\phi0.85$	5.43	双叠	1-9	2Y	28	72
YZP132M2-6	4	210	148	160	45	22	$2-\phi0.9$	3.4	双叠	1-8	1Y	41	70
YZP160M1-4	7.5	245	165	110	48	34	$2-\phi0.85$	5.3	双叠	1-12	2Y	44	130
YZP160M1-6	5.5	245	182	115	54	40	$1-\phi1.0$	4.12	双叠	1-9	2Y	50	130
YZP160M2-4	11	245	165	145	48	26	$1-\phi1.0/1-\phi0.95$	3.2/2.8	双叠	1-12	2Y	44	140
YZP160M2-6	7.5	245	182	150	54	30	$1-\phi1.18$	4.87	双叠	1-9	2Y	50	140
YZP160L-4	15	245	165	180	48	20	$2-\phi1.12$	6.7	双叠	1-12	2Y	44	170
YZP160L-6	11	245	182	210	54	22	$1-\phi0.95/1-\phi1.0$	2.86/3.01	双叠	1-9	2Y	50	170
YZP160L-8	7.5	245	182	210	54	14	$1-\phi1.18/1-\phi1.25$	2.6/2.76	双叠	1-7	1Y	50	170

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子冲片槽数	电机重量/kg
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结		
YZP180L-4	22	280	195	200	48	18	2－φ1.4/1－φ1.3	11/4	双叠	1-11	2Y	44	200
YZP180L-6	15	280	210	200	54	28	2－φ0.9	6.3	双叠	1-9	3Y	44	200
YZP180L-8	11	280	210	200	60	24	2－φ1.06	8	双叠	1-8	2Y	44	200
YZP200L-4	30	327	220	175	48	16	2－φ1.3/1－φ1.4	7.94/4.46	双叠	1-11	2Y	44	255
YZP200L-6	22	327	245	200	54	24	2－φ1.25	11.4	双叠	1-9	3Y	44	276
YZP200L-8	15	327	245	200	60	20	3－φ1.12	11.6	双叠	1-8	2Y	44	277
YZP225M-4	37	327	220	230	48	12	3－φ1.3/1－φ1.4	10.5/4	双叠	1-11	2Y	44	255
YZP225M-6	30	327	245	255	54	20	2－φ1.4	13	双叠	1-8	3Y	44	330
YZP225M-8	22	327	245	255	60	16	3－φ1.3	13.9	双叠	1-7	2Y	44	330
YZP250M1-4	45	368	245	220	48	26	1－φ1.5/2－φ1.4	10.5/18.5	双叠	1-12	4Y	44	390
YZP250M1-6	37	368	280	280	72	14	3－φ1.3	17.9	双叠	1-11	3Y	58	450
YZP250M1-8	30	368	280	270	60	24	1－φ1.0/2－φ0.9	4.6/8.2	双叠	1-7	4Y	44	450
YZP250M2-4	55	368	245	270	48	22	1－φ1.25/3－φ1.4	7/25.5	双叠	1-12	4Y	44	485
YZP250M2-6	45	368	280	330	72	12	3－φ1.4	19.6	双叠	1-11	3Y	58	540
YZP250M2-8	37	368	280	340	60	20	2－φ1.3	15.1	双叠	1-7	4Y	44	540
YZP280S1-4	63	423	290	230	60	18	5－φ1.3	37.4	双叠	1-14	4Y	50	680
YZP280S1-6	55	423	310	285	72	24	2－φ1.18/1－φ1.12	17.8/8.5	双叠	1-12	6Y	58	685
YZP280S-8	45	423	310	285	72	18	2－φ1.3/1－φ1.4	15.3/8.2	双叠	1-9	4Y	58	695

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子冲片槽数	电机重量/kg
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结		
YZP280S-10	37	423	340	325	60	30	$2-\phi1.3$	21.7	双叠	1-6	5Y	64	705
YZP280S2-4	75	423	290	260	60	16	$5-\phi1.4$	39.5	双叠	1-14	4Y	50	710
YZP280S2-6	63	423	310	325	72	20	$2-\phi1.25/1-\phi1.4$	19/12	双叠	1-12	6Y	58	700
YZP280M-4	90	423	290	300	60	14	$4-\phi1.40/2-\phi1.3$	29.56/13.14	双叠	1-14	4Y	50	785
YZP280M-6	75	423	310	360	72	18	$3-\phi1.18/1-\phi1.12$	23.1/7.3	双叠	1-12	6Y	58	790
YZP280M-8	55	423	310	360	72	16	$4-\phi1.25$	28.4	双叠	1-9	4Y	58	785
YZP280M-10	45	423	340	370	60	26	$3-\phi1.18$	24.7	双叠	1-6	5Y	64	780
YZP315S1-4	110	493	340	290	96	8	$6-\phi1.3$	38.8	双叠	1-23	4Y	72	1047
YZP315M-4	132	493	340	370	96	6	$7-\phi1.4$	43.6	双叠	1-24	4Y	72	1145
YZP315S1-6	90	493	360	300	90	16	$6-\phi1.25$	55	双叠	1-13	6Y	72	1069
YZP315M-6	110	493	360	380	90	14	$1-\phi1.4/5-\phi1.3$	11.6/50.3	双叠	1-13	6Y	72	1127
YZP315S1-8	63	493	400	300	72	30	$2-\phi1.4$	33	双叠	1-9	8Y	58	1033
YZP315S2-8	75	493	400	340	72	26	$2-\phi1.5$	35.5	双叠	1-9	8Y	58	1093
YZP315M-8	90	493	400	430	72	22	$2-\phi1.25/1-\phi1.5$	24.5/17.8	双叠	1-9	8Y	58	1124
YZP315S1-10	55	493	400	300	90	36	$1-\phi1.18/1-\phi1.25$	16.5/18.5	双叠	1-9	10Y	72	1088
YZP315S2-10	63	493	400	340	90	32	$1-\phi1.3/1-\phi1.25$	19.5/18	双叠	1-9	10Y	72	1057
YZP315M-10	75	493	400	430	90	26	$1-\phi1.4/1-\phi1.5$	21.5/24.5	双叠	1-9	10Y	72	1137
YZP355M-8	110	560	450	350	96	16	$2-\phi1.18/1-\phi1.25$	19.3/21.5	双叠	1-12	8Y	72	1280

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子冲片槽数	电机重量/kg
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结		
YZP355L1-8	132	560	450	410	96	14	3－ϕ1.3/1－ϕ1.25	34.7/10.4	双叠	1-12	8Y	72	1280
YZP355L2-8	160	560	450	470	96	12	3－ϕ1.4/1－ϕ1.5	36.5/13.9	双叠	1-12	8Y	72	1280
YZP355M-10	90	560	460	350	90	28	2－ϕ1.4	41	双叠	1-9	10Y	72	1280
YZP355L1-10	110	560	460	430	90	24	1－ϕ1.5/1－ϕ1.6	24/27.1	双叠	1-9	10Y	72	1280
YZP355L2-10	132	560	460	490	90	20	2－ϕ1.4/1－ϕ1.3	36.2/16.5	双叠	1-9	10Y	72	1280
YZP400L1-8	200	650	510	410	96	12	4－ϕ1.4/2－ϕ1.5	44/25	双叠	1-10	8Y	72	1680
YZP400L2-8	250	650	510	480	96	10	6－ϕ1.6	80	双叠	1-10	8Y	72	1900
YZP400L1-10	160	650	510	430	105	8	7－ϕ1.3/3－ϕ1.4	51/26	双叠	1-11	5Y	85	1800
YZP400L2-10	200	650	510	490	105	8	4－ϕ1.5/4－ϕ1.6	38/44	双叠	1-8	5Y	85	1975
YZP400L1-8	200	650	510	410	96	10	4－ϕ1.4/3－ϕ1.5	41/30	双叠	1-12	4△	72	1680
YZP400L2-8	250	650	510	480	96	8	6－ϕ1.5/2－ϕ1.6	58/22	双叠	1-12	4△	72	1900
YZP400L1-10	160	650	510	430	105	14	6－ϕ1.3	75	双叠	1-11	5△	85	1800
YZP400L2-10	200	650	510	490	105	12	5－ϕ1.4/1－ϕ1.6	71-11	双叠	1-10	5△	85	1975
YZP450L1-8	280	740	590	560	96					1-10	8△	72	3210
YZP450L2-8	320	740	590	600	96					1-10	8△	72	3210
YZP450L3-8	355	740	590	650	96					1-10	8△	72	3210
YZP450L1-10	250	740	590	560	90					1-9	5△	72	3260
YZP450L2-10	280	740	590	600	90					1-9	5△	72	3260
YZP450L3-10	320	740	590	650	90					1-9	5△	72	3260

附录 K YZR3 系列电动机铁心及绕组数据（见附表 K-1）

附表 K-1 YZR3 系列起重及冶金用三相异步电动机铁心及绕组数据（380V，50Hz）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 112M1-4	3	182	127	90	36	32	1-ϕ1.0	2.0	交叉	2(1-9) 1(1-8)	1Y	14	2-ϕ1.3	1.7	单链	1-6	Y	24
YZR3 112M1-6	1.5	182	127	115	45	42	1-ϕ0.85	2.0	双叠	1(1-8)	1Y	14	1-ϕ1.0 1-ϕ1.06	0.7 0.75	单链	1-6	Y	36
YZR3 112M2-4	3.7	182	127	90	36	26	1-ϕ1.12	2.2	交叉	2(1-9) 1(1-8)	1Y	15	2-ϕ1.25	1.9	单链	1-6	Y	24
YZR3 112M2-6	2.2	182	127	115	45	32	1-ϕ0.95	2.2	双叠	1(1-8)	1Y	14	1-ϕ1.0 1-ϕ1.06	0.8 0.85	单链	1-6	Y	36
YZR3 132M1-4	5.5	210	136	100	36	52	2-ϕ0.8	5.0	双叠	1-9	2Y	15	2-ϕ0.95 3-ϕ1.0	1.13 1.9	单链	1-6	Y	24
YZR3 132M2-4	6.3	210	136	110	36	48	1-ϕ1.18	5.1	双叠	1-9	2Y	16	1-ϕ1.18 2-ϕ1.25	1 2	单链	1-6	Y	24
YZR3 132M1-6	3	210	148	95	45	34	2-ϕ0.85	3.6	双叠	1-8	1Y	12	3-ϕ1.12	2.4	单链	1-6	Y	36
YZR3 132M2-6	3.7	210	148	115	45	28	2-ϕ0.9	4.0	双叠	1-8	1Y	18	3-ϕ0.9	2.7	单链	1-6	Y	36
YZR3 160M1-4	7.5	245	165	100	48	36	1-ϕ1.18	5.2	双叠	1-12	2Y	23	3-ϕ0.85 1-ϕ0.8	3.25 0.95	交叉	2/1-9 1/1-8	2Y	36

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a \times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 160M2-4	11	245	165	140	48	26	1 - ϕ1.0 1 - ϕ0.95	3.1 2.7	双叠	1-12	2Y	17	2 - ϕ0.95 2 - ϕ1.0	2.3 2.5	交叉	2/1-9 1/1-8	2Y	36
YZR3 160L-4	15	245	165	180	48	20	1 - ϕ0.85 2 - ϕ0.95	1.7 4.7	双叠	1-12	2Y	18	4 - ϕ0.95	5.7	交叉	2/1-9 1/1-8	2Y	36
YZR3 160M1-6	5.5	245	182	100	54	42	1 - ϕ1.0	4.2	双叠	1-9	2Y	23	3 - ϕ1.0	4	单链	1-6	2Y	36
YZR3 160M2-6	7.5	245	182	140	54	32	1 - ϕ1.18	5.0	双叠	1-9	2Y	24	1 - ϕ1.0 2 - ϕ0.95	1.65 2.95	单链	1-6	2Y	36
YZR3 160L-6	11	245	182	195	54	22	2 - ϕ1.0	5.9	双叠	1-9	2Y	22	3 - ϕ1.0	5.5	单链	1-6	2Y	36
YZR3 160L-8	7.5	245	182	195	54	14	1 - ϕ1.28 1 - ϕ1.3	2.8 3	双叠	1-7	2Y	24	2 - ϕ0.95 1 - ϕ1.85	3.35 1.85	双层	1-5	2Y	36
YZR3 180L-4	22	280	195	180	48	18	2 - ϕ1.0 1 - ϕ1.4	5.3 5.2	双叠	1-11	2Y	17	1 - ϕ1.25 2 - ϕ1.3	2.7 5.8	交叉	2/1-9 1/1-8	2Y	36
YZR3 180L-6	15	280	210	190	54	30	1 - ϕ1.25	7.1	双叠	1-9	3Y	17	1 - ϕ1.3 2 - ϕ1.25	2.5 4.6	单链	1-6	2Y	36
YZR3 180L-8	11	280	210	190	60	24	1 - ϕ1.0 1 - ϕ1.12	3.7 4.7	双叠	1-8	2Y	14	1 - ϕ1.3 2 - ϕ1.25	2.5 4.6	单链	1-6	2Y	48
YZR3 200L-4	30	327	220	175	48	16	2 - ϕ1.3 1 - ϕ1.4	7.94 4.46	双叠	1-11	2Y	15	4 - ϕ1.4	11.4	交叉	2/1-9 1/1-8	2Y	36

（续）

型　号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 200L-6	22	327	245	185	72	22	1－ϕ1.25 1－ϕ1.18	7.0 6.2	双叠	1-12	3Y	15	4－ϕ1.25	12.8	交叉	2/1-9 1/1-8	3Y	54
YZR3 200L-8	15	327	245	185	72	38	1－ϕ0.95 1－ϕ0.9	6.17 5.53	双叠	1-9	4Y	6	4－ϕ1.4	11.6	双叠	1-7	2Y	54
YZR3 225M-4	37	327	220	230	48	12	3－ϕ1.30 1－ϕ1.4	10.5 4	双叠	1-11	2Y	13	3－ϕ1.18 3－ϕ1.25	6.08 6.82	交叉	2/1-9 1/1-8	2Y	36
YZR3 225M-6	30	327	245	240	72	16	1－ϕ1.5 1－ϕ1.4	8.3 7.3	双叠	1-12	3Y	14	4－ϕ1.3	15.5	交叉	2/1-9 1/1-8	3Y	54
YZR3 225M-8	22	327	245	240	72	28	2－ϕ1.06	13.1	双叠	1-9	4Y	12	4－ϕ1.4	13.7	双叠	1-7	2Y	54
YZR3 250M1-4	45	368	250	210	60	20	3－ϕ1.18	18.5	双叠	1-15	4Y	12	2－ϕ1.4 3－ϕ1.3	8.3 10.8	单链	1-11	4Y	48
YZR3 250M2-4	55	368	250	260	60	16	2－ϕ1.3 1－ϕ1.4	13.1 7.6	双叠	1-15	4Y	12	2－ϕ1.4 3－ϕ1.3	9.2 11.9	单链	1-11	4Y	48
YZR3 250M1-6	37	368	280	220	72	16	1－ϕ1.18 2－ϕ1.25	5.3 11.4	双叠	1-12	3Y	14	3－ϕ1.4 1－ϕ1.3	13.3 3.8	交叉	2/1-9 1/1-8	3Y	54
YZR3 250M2-6	45	368	280	280	72	12	3－ϕ1.25 1－ϕ1.18	15.4 3.6	双叠	1-12	3Y	12	1－ϕ1.4 4－ϕ1.3	4.5 15.5	交叉	2/1-9 1/1-8	3Y	54

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 250M1-8	30	368	280	220	72	12	3 - ϕ1.25 1 - ϕ1.18	11.6 3.5	双叠	1-9	2Y	12	5 - ϕ1.30	15	双叠	1-7	2Y	54
YZR3 250M2-8	37	368	280	280	72	10	3 - ϕ1.4 1 - ϕ1.3	14.04 4.16	双叠	1-9	2Y	12	4 - ϕ1.3 1 - ϕ1.4	14 4.1	双叠	1-7	2Y	54
YZR3 280S1-4	63	423	290	210	60	18	5 - ϕ1.3	36	双叠	1-14	4Y	7	8 - ϕ1.18 8 - ϕ1.25	13.4 15	单链	1-13	2Y	48
YZR3 280S2-4	75	423	290	240	60	16	5 - ϕ1.4	40.2	双叠	1-14	4Y	6	4 - ϕ1.18 14 - ϕ1.25	6.1 23.9	单链	1-13	2Y	48
YZR3 280M-4	90	423	290	270	60	14	3 - ϕ1.4 3 - ϕ1.3	21.7 18.7	双叠	1-14	4Y	7	8 - ϕ1.18 8 - ϕ1.25	15 10.9	单链	1-13	2Y	48
YZR3 280S1-6	55	423	310	210	72	26	2 - ϕ1.12 1 - ϕ1.18	15.8 8.8	双叠	1-12	6Y	13	3 - ϕ1.25 3 - ϕ1.3	10.6 11.6	单链	1-10	3Y	54
YZR3 280S2-6	63	423	310	240	72	22	3 - ϕ1.25 1 - ϕ1.18	27.5	双叠	1-12	6Y	12	1 - ϕ1.4 4 - ϕ1.5	3.65 20.95	单链	1-10	3Y	54
YZR3 280M-6	75	423	310	300	72	20	2 - ϕ1.35 1 - ϕ1.25	19.1 10.2	双叠	1-11	6Y	11	6 - ϕ1.4	27.3	单链	1-10	3Y	54
YZR3 280S-8	45	423	310	240	72	20	2 - ϕ1.35 1 - ϕ1.25	16.9 7.2	双叠	1-9	4Y	12	5 - ϕ1.3 3 - ϕ1.4	15.6 3.6	双叠	1-6	2Y	54
YZR3 280M-8	55	423	310	300	72	16	2 - ϕ1.3 2 - ϕ1.25	14.2 13.1	双叠	1-9	4Y	10	4 - ϕ1.3 3 - ϕ1.4	12.3 10.7	双叠	1-6	2Y	54

（续）

型　号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 280S-10	37	423	340	240	60	36	1-ϕ1.3 1-ϕ1.18	11.1 9.2	双叠	1-6	5Y	12	2-ϕ1.4 2-ϕ1.3	10 8.9	双叠	1-7	5Y	75
YZR3 280M-10	45	423	340	300	60	28	2-ϕ1.12 1-ϕ1.18	14.8 8.2	双叠	1-6	5Y	10	1-ϕ1.5 4-ϕ1.3	5.8 17.5	双叠	1-7	5Y	75
YZR3 315S-4	110	493	340	300	96	8	6-ϕ1.3	40	双叠	1-24	4Y	2	3.15×16	40.2	双层波式	1-19	Y	72
YZR3 315M-4	132	493	340	380	96	3	7-ϕ1.4	45	双叠	1-25	4Y	2	3.15×16	45.1	双层波式	1-19	Y	72
YZR3 315S-6	90	493	370	300	90	14	1-ϕ1.4 2-ϕ1.5	9 25	双叠	1-14	6Y	2	3.15×16	36.3	双层波式	1-13 1-12	Y	72
YZR3 315M-6	110	493	370	380	90	12	3-ϕ1.4 1-ϕ1.3	31 10	双叠	1-14	6Y	2	3.15×16	41	双层波式	1-13 1-12	Y	72
YZR3 315S1-8	63	493	370	300	72	32	2-ϕ1.40 1-ϕ1.30	34	双叠	1-9	8Y	2	2.5×16	40.5	双层波式	1-13 1-12	Y	96
YZR3 315S2-8	75	493	370	330	72	28	2-ϕ1.5	36	双叠	1-9	8Y	2	2.5×17	42.5	双层波式	1-13 1-12	Y	96
YZR3 315M-8	90	493	370	380	72	24	3-ϕ1.3	38	双叠	1-9	8Y	2	2.5×18	45.7	双层波式	1-13 1-12	Y	96

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 315S1-10	55	493	400	300	75	20	3 − ϕ1.25	26	双叠	1-8	5Y	2	2.24×16	31.5	双层波式	1-10 1-9	Y	90
YZR3 315S2-10	63	493	400	330	75	18	3 − ϕ1.3	27	双叠	1-8	5Y	2	2.24×17	33	双层波式	1-10 1-9	Y	90
YZR3 315M-10	75	493	400	380	75	16	3 − ϕ1.4	30	双叠	1-8	5Y	2	2.24×18	35.8	双层波式	1-10 1-9	Y	90
YZR3 355M-8	110	560	450	330	96	16	2 − ϕ1.18 2 − ϕ1.25	19.3 21.5	双层叠式	1-12	8Y	2	3.55×16	49.4	双层波式	1-9 1-10	Y	72
YZR3 355L1-8	132	560	450	380	96	14	3 − ϕ1.30 1 − ϕ1.25	34.7 10.4	双层叠式	1-12	8Y	2	3.55×16	54	双层波式	1-9 1-10	Y	72
YZR3 355L2-8	160	560	450	440	96	12	3 − ϕ1.40 1 − ϕ1.50	36.2 13.8	双层叠式	1-12	8Y	2	3.55×16	57.9	双层波式	1-9 1-10	Y	72
YZR3 355M-10	90	560	460	350	90	28	1 − ϕ1.18 2 − ϕ1.12	14.3 25.7	双层叠式	1-8	10Y	2	3.15×16	60.5	双层波式	1-12 1-11 1-10	Y	105
YZR3 355L1-10	110	560	460	410	90	24	1 − ϕ1.18 2 − ϕ1.25	13.9 21.2	双层叠式	1-8	10Y	2	3.15×16	68	双层波式	1-12 1-11 1-10	Y	105

（续）

型　号	额定功率/kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径/mm	内径/mm	长度/mm	槽数	每槽导体数	线规 $n-\phi$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽导体数	线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	铜重/kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR3 355L2-10	132	560	460	490	90	20	2 – ϕ1.40 1 – ϕ1.30	36.2 16.5	双层叠式	1-8	10 Y	2	3.15×16	73.5	双层波式	1-12 1-11 1-10	Y	105
YZR3 400L1-8	200	650	510	400	96	12	7 – ϕ1.3	68	双层叠式	1-11	8 Y	2	4.5×20	89	双层波式	1-10 1-9	Y	72
YZR3 400L2-8	250	650	510	480	96	10	5 – ϕ1.3 4 – ϕ1.25	45.4 33.6	双层叠式	1-11	8 Y	2	4.5×20	98	双层波式	1-10 1-9	Y	72
YZR3 400L1-10	160	650	510	400	105	8	11 – ϕ1.3	74	双层叠式	1-11	5 Y	2	4.0×20	91.5	双层波式	1-10 1-9	Y	90
YZR3 400L2-10	200	650	510	480	105	8	11 – ϕ1.3	74	双层叠式	1-8	5 Y	2	4.0×20	105.5	双层波式	1-10 1-9	Y	90
YZR3 400L1-8	200	650	510	400	96	10	5 – ϕ1.3 4 – ϕ1.25	40 30	双层叠式	1-12	4 △	2	4.5×20	89	双层波式	1-10 1-9	Y	72
YZR3 400L2-8	250	650	510	480	96	8	11 – ϕ1.3	80	双层叠式	1-12	4 △	2	4.5×20	98	双层波式	1-10 1-9	Y	72
YZR3 400L1-10	160	650	510	400	105	14	6 – ϕ1.3	70.5	双层叠式	1-11	5 △	2	4.0×20	91.5	双层波式	1-10 1-9	Y	90
YZR3 400L2-10	200	650	510	480	105	12	7 – ϕ1.3	79	双层叠式	1-11	5 △	2	4.0×20	105.5	双层波式	1-10 1-9	Y	90

附录 L　YZR 系列电动机铁心及绕组数据（见附表 L-1）

附表 L-1　YZR 系列起重及冶金用三相异步电动机铁心及绕组数据

型号	额定功率 /kW	定子铁心				定子绕组						转子绕组						
		外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm	槽数	每槽线数	线规 $n-\phi$/mm	铜重 /kg	绕组型式	节距 y	联结	每槽线数	线规 $n-\phi$ 或 $a \times b$/mm	铜重 /kg	绕组型式	节距 y	联结	槽数
YZR112M-6	1.5	182	127	95	45	42	1 - ϕ0.75	1.61	双层叠式	1-8	Y	14	1 - ϕ0.9 1 - ϕ1.0	1.33	单层链式	1-6	Y	36
YZR132M1-6	2.2	210	148	100		34	1 - ϕ0.95	2.47				15	2 - ϕ1.12	3.44				
YZR132M2-6	3.7			150		24	1 - ϕ0.85	3.44						2.4				
YZR160M1-6	5.5	245	182	115	54	40	1 - ϕ1.0	4.13		1-9	2 Y	22	3 - ϕ1.0	4.55			2 Y	
YZR160M2-6	7.5			150		30	1 - ϕ1.18	4.9						5.2				
YZR160L-6	11			210		22	1 - ϕ0.95	6.07						6.25				
YZR180L-6	15	280	210	200		28	2 - ϕ0.9	6.34			3 Y	16	3 - ϕ1.3	7.75				
YZR200L-6	22	327	245			24	2 - ϕ1.25	11.6				19	4 - ϕ1.25	12.2			3 Y	
YZR225M-6	30			255		20	2 - ϕ1.4	13.3		1-8				13.9				
YZR250M1-6	37	368	280	280	72	14	3 - ϕ1.3	18		1-11		12	3 - ϕ1.4 1 - ϕ1.3	17.6	双层叠式	2/1-9 1/1-8		54
YZR250M2-6	45			330		12	3 - ϕ1.4	19.75						19.2				
YZR280S-6	55	423	310	285		24	2 - ϕ1.18 1 - ϕ1.12	36.5		1-12	6 Y		6 - ϕ1.3	23.1		1-9		48
YZR280M-6	75			360		18	3 - ϕ1.18 1 - ϕ1.12	30.5						26.8				
YZR160L-8	7.5	245	182	210	54	14	2 - ϕ1.18	5.36		1-7	Y	24	2 - ϕ1.18	5.55		1-5	2 Y	36
YZR180L-8	11	280	210	200	60	24	2 - ϕ1.06	8		1-8	2 Y	14	3 - ϕ1.25	7.33	单层链式	1-6		48
YZR200L-8	15	327	245			20	3 - ϕ1.12	11.9				12	4 - ϕ1.3	10.1				

（续）

型号	额定功率/kW	定子铁心 外径/mm	定子铁心 内径/mm	定子铁心 长度/mm	定子铁心 槽数	定子绕组 每槽线数	定子绕组 线规 $n-\phi$/mm	定子绕组 铜重/kg	定子绕组 绕组型式	定子绕组 节距 y	定子绕组 联结	转子绕组 每槽线数	转子绕组 线规 $n-\phi$ 或 $a\times b$/mm	转子绕组 铜重/kg	转子绕组 绕组型式	转子绕组 节距 y	转子绕组 联结	转子绕组 槽数
YZR225M-8	22	327	245	255	60	16	3-φ1.3	13.93	双层叠式	1-7	2Y	12	4-φ1.3	11.35	单层链式	1-6	2Y	48
YZR250M1-8	30	368	280	280		12	2-φ1.4 1-φ1.3	12.15		1-8		11	3-φ1.4 1-φ1.3	12.9				
YZR250M2-8	37			350		10	4-φ1.3	15.2						14.9				
YZR280S-8	45	423	310	285	72	18	1-φ1.4 1-φ1.3	33.5	双层叠式	1-9	4Y	10	6-φ1.4	21	双层叠式	1-7		54
YZR280M-8	55			360		16	4-φ1.25	28.3		1-8				24.4				
YZR315S-8	75	493	400	340		14	3-φ1.4 1-φ1.3	30.2					2.24×16	28.2	双层波式	1-13 1-12	Y	96
YZR315M-8	90			430		12	4-φ1.3 1-φ1.4	34.8						43.4				
YZR280S-10	37	423	310	325	60	30	2-φ1.3	22		1-6	5Y		2.8×12.5	11.55	双层波式	1-8		75
YZR280M-10	45			370		26	3-φ1.18	25						12.1				
YZR315S-10	55	493	400	340	75	18	1-φ1.25 2-φ1.18	23.5		1-8			2.24×16	35.8	双层波式	1-9 1-10		90
YZR315M-10	75			430		14	3-φ1.4	28.1						40.3				
YZR355M-10	90	560	460	380	90	26	2-φ1.18 1-φ1.12	40.7		1-9	10Y		3.15×16	63.9		1-11 1-12		105
YZR355L1-10	110			470		22	2-φ1.25 1-φ1.3	47.4						72.2				
YZR355L2-10	132			540		18	3-φ1.4	52.2						78.7				



牵引电动机修理

第一章　概　　述

凡是用来驱动铁路平线电力机车、内燃机车、电动轮自卸车、工矿电力机车、城郊和地下铁道电动车组、城市电车以及其他电气传动机车的电动机、通常称为牵引电动机。牵引电动机通过齿轮传动装置直接驱动机车，是机车上的主要核心部件。随着机车的种类和技术要求的不同，牵引电动机的类型也较多，有直流牵引电动机、脉流牵引电动机、单相换向器式牵引电动机、交流三相异步牵引电动机、交流同步牵引电动机，磁悬浮直线电动机以及开关磁阻电动机等牵引电动机常分为主牵引电动机和辅助牵引电动机。主牵引电动机直接驱动轮对，使机车、车辆前进或后退；后者是指装于车上用于驱动空气压缩机、通风机、辅助电源发电机等的电动机。各种不同类型的机车，虽其功率范围、使用场合和特性要求有所差异，使用的牵引电动机的设计结构和制造工艺有许多相同之处，它们按照不同的产品标准和基本技术条件，分别进行设计制造，主要有 JB 6480—1992 旋转牵引电机基本技术条件、TB/T 2436—2006（已替代 2436—1993 标准）电力牵引铁路机车车辆和公路车辆用除电子变流器供电的交流电动机之外的旋转电机以及 JB 5335—1991 蓄电池车辆用直流电动机基本技术条件。

一、牵引电动机的分类

牵引电动机的分类方法很多，可按使用场所分，可按电流体系分，也可按其体积、功率的大小来分。牵引电动机按所使用机车的种类及供电方式来划分，见表 1-1。

表 1-1　牵引电动机的分类

机车类别	牵引电动机类别及电压	电源	电气传动系统及调速特点	型号示例
电传动内燃机车	直流牵引电动机。电压无规定	柴油机带动三相交流同步发电机	交-直传动 主整流柜桥式整流后供给直流牵引电动机。调节主发电机励磁的恒功率调压调速与削弱磁场调速相结合	ZD ZQDR
	三相异步牵引电动机。电压无规定	柴油机带动三相交流同步发电机	交-直-交传动 经主变流器及逆变器提供频率及电压可调的三相交流电给异步牵引电动机	JD

（续）

机车类别	牵引电动机类别及电压	电源	电气传动系统及调速特点	型号示例
交流电力机车	脉流牵引电动机。电压无规定	架线供电，主变压器高压侧或低压侧调压	交-直传动 经硅整流器整流后调压调速与削弱磁场调速相结合	ZQ ZD
	三相异步牵引电动机。电压无规定	架线供电，经主变压器调压	交流传动 经牵引变流器及逆变器，提供频率及电压可调的三相交流电给异步牵引电动机	JD
电动轮自卸车和燃气轮机车	直流牵引电动机。电压无规定	柴油机带动三相交流同步发电机	交-直传动 主整流柜桥式整流后供给直流牵引电动机。调节主发电机励磁的恒功率调压调速与削弱磁场调速相结合	ZQDR ZD
	三相异步牵引电动机。电压无规定	柴油机或燃气轮机带动三相交流同步发电机	交-直-交传动 经主变流器及逆变器提供频率及电压可调的三相交流电给异步牵引电动机	JD
城市轨道交通车辆	直流牵引电动机。电压：500～1500V	架线式或第三轨供电	直-直传动 变阻调速或斩波调压调速	ZQ
	三相异步牵引电动机。电压无规定	架线式或第三轨供电	直-交或交流传动 经主变流器及逆变器提供频率及电压可调的三相交流电给异步牵引电动机	JD
井下或露天架线式工矿电机车	直流牵引电动机。电压：250V、550V、750V、1500V	架线式供电	直-直传动 采用变阻调速或斩波调速	ZQ
	三相异步牵引电动机。电压无规定	架线式供电。直流或单相交流：300～660V电网	直-交或交流传动	JD JQ
矿用蓄电池工矿电机车	直流牵引电动机。电压56～192V	蓄电池供电	变阻调速、变极调速及斩波调速	ZQB ZXQB DTZB

（续）

机车类别	牵引电动机类别及电压	电源	电气传动系统及调速特点	型号示例
蓄电池工业车辆	串励直流或他励直流牵引电动机。电压:22～90V	蓄电池供电	变阻调速及斩波调速	XQ XQD XQT ZXQ ZQB

二、各类牵引电动机的应用比较

1. 串励直流牵引电动机

我国的牵引机车领域应用串励直流牵引电动机的历史，可以追溯到新中国成立以前，当时在我国东北的矿山及上海、大连等城市的交通运输中，小型矿用电机车及有轨电车已开始使用串励直流牵引电动机。1958 年开始的国民经济大跃进，我国相继试制成功了 ZQ-650、ZQDR-204、ZQDR-200 等铁道干线用串励直流牵引电动机，分别用在 $6Y_1$ 型电力机车，巨龙型2000hp 电传动内燃机车及 1200hp 先行号直流传动内燃机车上。在工矿电机车领域也制成 ZQ-21、ZQ-11B 等矿用串励直流牵引电动机，从此，我国的牵引电机行业领域，开始了从无到有、从小到大，经历了从测绘仿制到逐步独立自主设计制造的光辉历程。在此后的 30 年间，我国自行改进设计到完全独立设计了很多种串励直流牵引电动机，如 ZQ650-1、ZQ-800、ZQDR306、ZQDR-410、ZQ-4B、ZQ-24、ZQ-52、ZQ350-1 等，为我国的铁道干线电力机车、电传动内燃机车及工矿电机车的大批量生产打下了良好的基础。

串励直流牵引电动机具有非常适合机车牵引所需要的理想的外特性，具有起动性能好、调速范围广、控制简单、操作方便等一系列的优点，所以直到 20 世纪末，串励直流牵引电动机一直占领着牵引领域的绝对统治地位。牵引电动机的成长发展的历史大都就是串励直流牵引电动机成长历史。

2. 脉流串励牵引电动机

由交流电网供电的交-直传动电力机车上，牵引电动机是在脉动电压下工作的。电流的脉动成分会对电动机的换向和发热产生一些不利的影响。因此在设计结构、参数选择等方面，必须在串励直流电动机的基础上，作些必要的改进，如采用叠片式换向极铁心、机壳内壁敷设磁桥和采用叠片式机座等。

为了适应在牵引工况到制动工况转换时，电动机从串励到他励的切换，也有采用他励直流电动机作为牵引电动机的。其主要优点是：采用晶闸管等电力电子开关代替有触点的换向器和牵引制动转换开关，能实现无级磁场削弱和负载分配，但其控制电路比较复杂。

3. 三相异步牵引电动机

进入 21 世纪后，我国的铁道机车开始进入了世界上先进的交流传动时代，各种新

型的交流传动电力机车及内燃机车均采用了功率大、重量轻、牵引性能好、使用周期长的笼型三相异步牵引电动机，单电动机最大功率已达1200kW以上交流牵引电动机没有直流牵引电动机的环火的故障，因此维修、运行的费用较低。由于具有很硬的机械特性，当转速升高时，其转矩下降得很慢，因此具有很好的防空转性能，比他励直流牵引电动机具有更充分利用粘着的优点，能满足重载下的起动的要求。交流同步牵引电机应用得很少。

综上所述，由于直流和脉流牵引电动机生产和应用的年代已很久远，因此牵引电动机的修理也重点阐述直流牵引电动机部分。

三、牵引电动机的工作特点及使用环境条件

牵引电动机的使用环境条件和工作特点对其使用寿命和可靠性有着非常大的影响，见表1-2。

表1-2 各种牵引电动机的环境要求及工作特点

分类	特殊要求	工作特点
运行环境	有轨运输时冲击振动很大，簧下部分的冲击振动达15~25倍重力加速度	东风8机车在张辛到密云段进行动力学测试，在以60km/h运行时，牵引电动机垂直向加速度高达22.13g，其中ZD-109牵引电动机系采用轴悬式悬挂，而相近规格的采用架承式悬挂时，在130km/h时只有3.89g。因此要求牵引电动机的主要零部件，如端盖、轴承盖、机座、压圈、套筒等都用钢结构件，具有足够的机械强度。各零部件必须固定牢靠，全部紧固件必须有防松措施。换向器的动态整体性要好，一般要在回转加热器内进行动压成型。主磁极和换向磁极线圈与铁心间要填塞紧密或一体胶化，高度方向常加弹性垫片以求压紧，可用带铁心的整体浸漆工艺，以改善散热和抗振性。电枢线圈槽部和端部应固定牢靠，绑扎要牢固，线圈间空隙要用绝缘物塞紧。电刷的单位压力达0.35~0.45kgf/cm²①，比普通直流电动机要高，电刷单块的截面应尽量小，高速双向运行时还常用分裂式电刷和斜面电刷
	牵引电动机装在车体下面，很容易受灰尘和雨雪的侵袭，还经常受到温度和湿度变化的影响。特别在矿井下工作的牵引电动机，受高湿度影响	牵引电动机应能防止灰尘、雨雪侵入内部，绝缘部件应经浸漆处理并刷耐弧瓷漆覆盖。金属零部件非配合表面可电镀或刷漆防锈；线圈之间的空隙，要用填充泥或绝缘漆填满，电枢表面应光洁和密封，防止潮气和污物渗入电枢内部，无纬带最好绑扎到换向器升高片上，最后整个电枢采用真空压力浸漆。矿山井下用牵引电动机宜采用防护性能好的封闭自冷结构，最好按湿热带TH型的要求进行绝缘处理。城市电车、轻轨或地铁用牵引电动机，则可根据具体环境条件，考虑采用散热较好的带内扇冷的自通风结构。煤矿井下用小型蓄电池式矿用安全型和特殊防爆型电机车用牵引电动机，均采用隔爆型，组成隔爆外壳的所有结构部件如机座、端盖、轴承盖和盖板等，需承受规定的压力试验，此外还要按防爆规程的要求，严格控制各接合面的长度、间隙和粗糙度等，防爆电动机的级别应符合使用场所的爆炸性混合物传爆能力的级别和组别，隔爆型也是一种封闭自冷的结构

（续）

分类	特殊要求	工作特点
运行环境	外部供电的机车，受电器常有脱开现象，造成电压和电流的瞬时冲击	电动机出厂时应进行接上和断开电源的试验，运行时承受高电压和大电流的瞬时冲击，为此应加强电动机各绕组的匝间绝缘，使不致产生任何机械损伤及飞弧闪络等现象
	钢轨上有水分及油污时，个别车轮易产生打滑空转甚至飞速	除采用空转保护外，牵引电动机本身应能承受1.2～1.35倍最大转速的超速试验。换向器制成后单独超速时的转速还要再提高5%～10%
	由单相整流器或直流斩波器供电的牵引电动机，其电流脉动系数一般为0.2～0.3	应采取改善脉流换向的措施，常用的方法有叠片式或换向极铁心、叠片式定子磁轭、机座内壁加磁桥和换向极第二气隙用绝缘垫片等
牵引性能	要求电动机的转矩（或电流）与转速呈双曲线形状的理想牵引特性	大多采用串励直流牵引电动机，因为它本身具有软特性，能自然满足牵引特性要求。现借助电子技术，用交流异步电动机或他励直流电动机调制出所需的理想牵引特性
	要求宽广的调速范围，通常达2～4倍	常用电阻调压和磁场削弱进行调速，自供电的机车常用调压调速，并通过恒功率励磁调节装置，使电压和电流呈双曲线关系，称为恒功率调速。现采用晶闸管斩波器调压，可以节省20%～30%电能，如采用额定转速接近于最高转速的高特性电动机，就可不用弱磁调速，节省了弱磁控制器，简化了电路，并使调速的大部分范围内都可保持额定转矩，使列车的加速时间大为缩短
	要求能实现电制动（电阻制动或再生制动）	要求牵引电动机能在高转速下转变为发电状态运行，将高速运行的动能转变为电能，使在制动电阻中消耗掉或反馈给电网，以达到减速制动的目的。此时会产生较大的过电流和过电压，因此要求牵引电动机有高的电气强度和良好的换向性能
	多台牵引电动机装于同一台机车时，要求它们之间的负载分配均匀	要求成批生产的牵引电动机的特性曲线一致，要求生产同一型号牵引电动机的生产厂商，都采用最先试制厂商的典型转速特性曲线，装车时要用正、反转额定转速平均值进行分组。牵引电动机生产厂商均应按同一套图样生产，生产用原材料及关键工艺、生产检测设备等应尽量统一
	机车经常要正、反双向运行，因此两方向应有相近的转速特性曲线	要求刷握固定可靠，不许有松动脱落，在整个运行过程中电刷应始终处在物理中性线上。修理时，旋转刷架圈经松动旋转后，应重新恢复到原位（通常有专用定位销或其他明显标记）。定子修理时，应保证原来的气隙及磁路各部分尺寸，包括垫片、铁心等。电枢也尽可能不要互换

（续）

分类	特殊要求	工作特点
牵引性能	具有大的起动转矩和过载能力	大部分牵引电动机的过电流倍数为1.7~2。蓄电池工业用车辆的牵引电动机更高达3倍，过转矩倍数达4.5倍。因此要求换向器与电枢线圈端头间必须焊牢，不可有虚焊、假焊，应尽可能采用氩气保护钨极电弧焊（也称TIG焊），以保证该连接点有足够的耐热性、高的机械强度、良好的导电性和较小的热影响区，以提高其可靠性
安装维护	牵引电动机在机车上安装位置很紧，特别是抱轴悬挂电动机，其长度和外径都有严格限制，也就是要在有限的体积内设计出功率尽可能大的电动机	为使牵引电动机在有限的体积内具有更大的功率，使机车达到多拉快跑的要求，在牵引电动机设计时，必须采取选用耐高温的绝缘等级，现常用F、H、C级绝缘，另外同一绝缘等级的允许最高使用温度比一般普通系列电动机的要高，牵引电动机的热老化寿命要求为5年，而一般普通系列的电动机至少要求15年
	除要求结构固定牢靠外，还要求便于检查维护和更换易损零件，并逐步提高无故障运行时间和两次大修期间无维护化发展	中小牵引电动机在确保换向良好的前提下，可采用非全额电刷。视察窗孔位置应本着在车体上和地沟里更换检查电刷方便而开设，因此可采用旋转刷架圈。应采用更合理可靠的油封结构、恒压弹簧、耐磨性好的长寿命电刷和换向器铜排等，为实现少维护和无维护化提供条件

① $1kgf/cm^2 = 98.0665kPa$。

四、串励直流牵引电动机的特点

不论是电力机车还是电传动内燃机车，也不论机车的吨位、牵引功率和牵引力是大是小，电传动机车牵引特性曲线的形状是由牵引电动机的特性曲线形状来决定的，而最终还是由牵引电动机的励磁方式决定的。图1-1示出了并励和串励直流电动机的速率特性和转矩特性曲线。

对于并励直流电动机，从曲线可见，由于其励磁电压等于其外施端电压，当其为一常数时，励磁磁动势是固定不变的，因此磁通 Φ 也不变。随着负载电流的增加，它的转速下降很小，一般不会超过8%，这种特性称为“硬”特性。如不考虑电枢反应的去磁作用，并励直流电动机的转矩特性 $M=f(I)$ 将是一条直线。

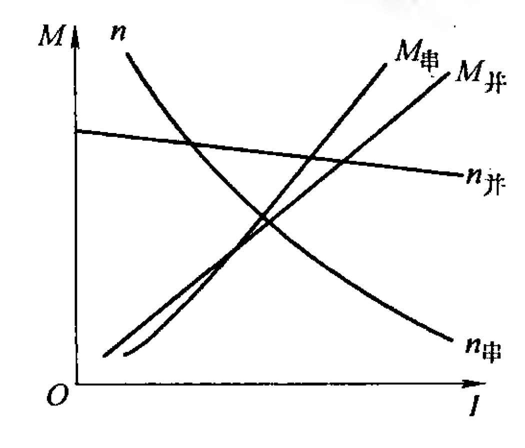


图1-1　并励和串励直流电动机的速率特性和转矩特性

对于串励直流电动机，由于其励磁电流就是它的负载电流，故磁通 Φ 将随着负载电流大小的变化而变化。如不考虑饱和的影响，串励直流电动机的 $n=f(I)$ 是一条双曲线，它的转速随负载变化很大，这种速率特性，通常称为“软”特性。此外，当电枢电流较小时，磁路尚处于不饱和状态，磁通 Φ 正比于负载电流 I，因 $M=C\Phi I$，所以 M 是和 I 的二次

方成正比例变化的。随着电流的增加，磁路趋于饱和，M 的增大也随之减慢，呈现图 1-1 中 $M_{串}$ 的变化态势。

由以上分析可以看出，具有“软”特性的串励直流电动机用于电力牵引时有以下优点。

①串励直流牵引电动机的自调节性能较好，也就是使机车的牵引力和速度能按照机车运行条件自动地进行调节。在上坡道上或负载过重时，串励直流牵引电动机能发挥较大的牵引力，在轻载或平直道运行时，它又有较高的速度，以便提高机车的通过能力。

②串励直流牵引电动机的功率利用较好，因为串励直流电动机的转速随着牵引力的增大而自动降低，在同样的牵引力变化时，它的功率变化最小，因为功率是牵引力和速度的乘积，因而可以合理地利用机车上各种电气设备的容量。

③串励直流牵引电动机有较大的起动牵引力，因而在相同的牵引条件下，所要求的电动机容量可以减小（由于串励直流牵引电动机有较大的起动电流和起动转矩倍数，所以在同样满足起动牵引力的条件下，可以使牵引电动机的额定功率减小），电动机的体积可以较小而重量可以减轻。在直流牵引电动机中，串励直流牵引电动机的单位牵引力的重量最小。

④当牵引电动机高速运行在全部并联工作时，各串励直流牵引电动机的负载分配较均匀。这是由于当同一台机车上所有牵引电动机并联运行时，由于牵引电动机速率特性不可避免地会有差异，在转速必须完全相同的条件下，各牵引电动机流过的负载电流不相同，而由于串励直流牵引电动机具有较软的特性，这个负载电流大小的差异也较并励直流电动机小很多。这样，可以防止个别牵引电动机在并联运行时发生严重过载现象。综合以上几点，充分说明了为什么串励直流牵引电动机被广泛地用于电力、内燃机车电传动及其他各个牵引领域内，主要是因为它的牵引特性好，在技术上和经济性方面有很多优点，能满足铁道运输上多拉快跑的要求。

串励直流电动机用于牵引领域时也有它本身的缺点：就是在一个动轮对由一台牵引电动机带动的个别传动情况下，当某一轮轴因为粘着被破坏而引起打滑时，由于它失去了负载，其串励特性会使转速迅猛上升，这样其正常的粘着更不易恢复。另外，例如在进行电气制动时，由于串励直流发电机状态下的特性很不稳定，往往要改接成他励条件下再进行电气制动。

表 1-3 列出了各种励磁方式直流电动机用于牵引时的比较。

表 1-3 各种励磁方式直流电动机用于牵引时的比较

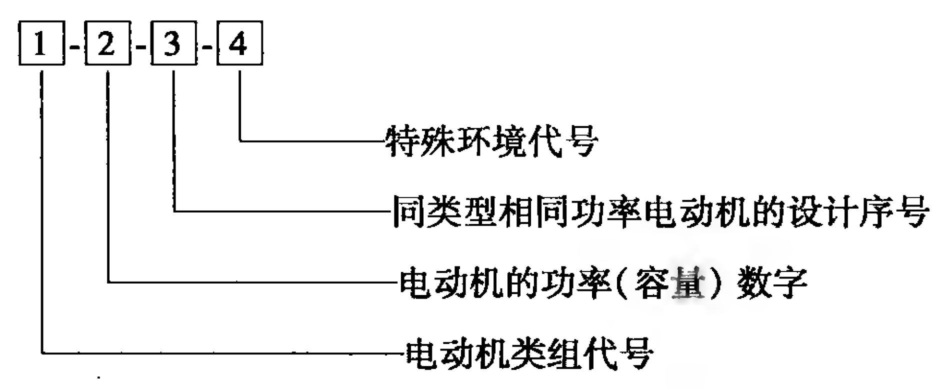
项 目	电机车对牵引电动机的要求	励磁方式		
		串励	并励(他励)	复励
电动机并联运行时的负载分配	负载分配应均匀，使充分利用电动机的功率	转速的软特性使各电动机间负载分配较均匀	转速的硬特性，电动机负载分配差异大	介于串励和并励之间

（续）

项　　目	电机车对牵引电动机的要求	励磁方式		
		串励	并励（他励）	复励
在同样电枢电流下的起动转矩	要求起动转矩大	起动转矩大	起动转矩小	介于串励和并励之间
电动机的最大转矩	因经常通过坡道，要求较高的最大转矩	高	低	介于串励和并励之间
电气制动	应容易实现电气制动	电阻制动时，三者基本相同 再生制动时，串励须改接线路，其余可自动转入		
供电电压突然升高的影响	须具有适应能力，且工作可靠	冲击电流小，工作可靠性高	冲击电流大，易发生环火，工作不可靠	冲击电流介于串励和并励之间，尚能正常工作
防空转性能	发生空转的可能性要小	稍多	最少	介于串励和并励之间
电动机尺寸	要求电动机尺寸尽可能小	较小	较大	中等

五、牵引电动机的产品型号及编制

牵引电动机产品型号编制的组成和排列如下：



牵引电动机的类组代号，由2～4个汉语拼音字母组成，其代号意义及应用举例见表1-4、表1-5。

表1-4　牵引电动机类组代号意义

类组代号的第1个字母		类组代号的第2个字母		类组代号的第3个字母		类组代号的第4个字母	
电动机的电流制	代号	牵引电动机类	代号	电动机种类	代号	电动机用途	代号
“直”流	Z	牵引电动机	Q	“发”电机	F	电力机车和电动车辆用电动机	（省略）
“同”步	T			电“动”机	D		
“异”步	Y			“劈”相机	P	热电机车用电动机	R
“单”相	D			“励”磁机	L		
“感”应子	G			“换”向器式电动机	H		

牵引电动机的功率（容量）数字以其额定功率千瓦（对交流发电机、劈相机为千伏安）的数字表示，若千瓦数带有小数点的尾数时，以四舍五入圆整成整数值。

表 1-5 牵引电动机类组代号应用举例

名 称	电机类组代号	字母代表意义
(电力机车及电动车辆用)直流牵引电动机	ZQ	直、牵
(电力机车热电机车及电动车辆用)直流牵引辅助发电机	ZQF	直、牵、发
(电力机车热电机车及电动车辆用)直流牵引辅助电动机	ZQD	直、牵、动
(电力机车及电动车辆用)直流牵引励磁机	ZQL	直、牵、励
热电机车用直流牵引发电机	ZQFR	直、牵、发、热
热电机车用直流牵引电动机	ZQDR	直、牵、动、热
热电机车用直流牵引励磁机	ZQLR	直、牵、励、热
(电力机车及电动车辆用)同步牵引劈相机	TQP	同、牵、劈
(电力机车及电动车辆用)异步牵引劈相机	YQP	异、牵、劈
热电机车用感应子牵引发电机	GQFR	感、牵、发、热

同类型的电动机具有相同功率（容量）时，在电动机功率（容量）数字之后加注设计序号进行区别。设计序号采用数字 0、1、2、3、4…表示，但最先一种的 0 不予标示。

特殊环境代号，用汉语拼音字母表示，其代号主要有：

KB——矿用隔爆型；

TA——干热带型；

TH——湿热带型；

T——干热带和湿热带通用型。

编制型号时，环境代号应直接靠拢设计序号或功率数字（当设计序号为 0 时），如同时出现两种特殊环境要求时，其代号按相应的汉语拼音字母顺序排列，但当代号由两个字母组成在确定顺序时，则按第 1 个字母。代号之间需以小圆点“·”隔开，如 2.2kW 湿热带蓄电池矿用隔爆型电机车用直流牵引电动机，第 2 种设计，其型号为：ZQ-2-1KB·TH。

牵引电动机的型号应用举例见表 1-6。

表 1-6 牵引电动机型号应用举例

型号	代号意义	电动机种类	示 例
ZQ	Z—直流 Q—牵引电动机	直流牵引电动机	ZQ-78:功率为 78kW 的直流牵引电动机 ZQ-650-1:功率为 650kW 的直(脉)流牵引电动机
ZQD	D—辅助电动机	直流辅助牵引电动机	ZQD-4:功率为 4kW 的直流辅助牵引电动机

（续）

型号	代号意义	电动机种类	示　　例
ZQDR	D—电动机 R—热电机车用	热电机车用直流牵引电动机	ZQDR-410：功率为410kW的热电机车用直流牵引电动机
ZD	Z—直流 D—电动机	直流牵引电动机	ZD106：直流牵引电动机，其中1表示主牵引电动机，06为设计序号
JD	J—交流 D—电动机	交流牵引电动机	JD113交流牵引电动机，其中1表示主牵引电动机，13表示设计序号 JD325交流牵引辅助电动机，3表示辅助牵引电动机，25表示设计序号
ZQ-□B	B—隔爆 KB—矿用隔爆	隔爆型直流牵引电动机	ZQ-4B：功率为4kW（整数值）的隔爆型直流牵引电动机
XQ	X—蓄电池车辆用 Q—直流牵引电动机	蓄电池车辆用直流牵引电动机	XQ-5-1：功率为5kW的蓄电池车辆用串励直流牵引电动机，1表示同功率的第2种设计
XQD	D—辅助电动机	蓄电池车辆用直流辅助牵引电动机	XQD-5：功率为5kW的蓄电池车辆用串励直流辅助电动机 XQD-6.3-1H：功率为6.3kW的蓄电池车辆用串励直流辅助电动机，H表示生产企业为华盛电机厂，序号为第1种
XQT	T—他励	蓄电池车辆用他励直流牵引电动机	XQT-2.2-9H2：功率为2.2kW的蓄电池车辆用他励直流主牵引电动机，H表示生产企业为华盛电机厂，规格参数序号为第9种，改进设计序号2
ZXQB	X—蓄电池车用 B—隔爆型	蓄电池机车用隔爆型直流牵引电动机	ZXQB-7.5/90：蓄电池机车用隔爆型直流牵引电动机，功率为7.5kW，电压为90V
ZXQ（老型号）	X—蓄电池车辆用	蓄电池车辆用直流牵引电动机	ZXQ-2.5/40：蓄电池车辆用直流牵引电动机，功率2.5kW，电压40V
DJZB	Z—直流 B—隔爆 DJ—电动机	隔爆型直流牵引电动机	DJZB-4.5：功率为4.5kW的隔爆型直流牵引电动机（六盘水煤矿机械厂生产）
YQP	Y—异步 Q—牵引用 P—变频	变频调速异步牵引电动机	YQP-22-10：变频调速异步牵引电动机，22kW10极 YQP-37-8：变频调速异步牵引电动机，37kW8极

六、牵引电动机的产品标准

牵引电动机的设计和制造标准详见表1-7。

表1-7 牵引电动机的设计和制造标准

标准名称和代号	提出单位和发布部门	适用范围
旋转牵引电机基本技术条件 JB 6480—1992	湘潭牵引电气设备研究所提出,机械电子工业部发布	适用于铁路和道路运输用电力驱动的机车或车辆上的电动机,并统称为牵引电动机。这种机车或车辆可以从外部电源或内部电源获得电力。本标准不适用于由蓄电池供电的电动工业车辆(如电动叉车等),也不适用于微型电机
电力牵引铁路机车车辆和公路车辆用除电子变流器供电的交流电动机之处的旋转电机,TB/T 2436—2006 替代 TB/T 2436—1993	铁道部发布	本标准规定了电力传动的铁路机车车辆和公路车辆上,除电子变流器供电的交流电动机之外的旋转电机。本标准也适用安装在由电力传动机车车辆牵引的拖车上的电机。本标准的基本要求可以用于特殊用途的机车车辆(如矿山机车)上的旋转电机,但不包括防爆或可能要求的其他特殊性能 本标准不适用于小型路面车辆(如蓄电池供电的搬运车、工厂运货车等)上的电机,也不适用于微型电机,如刮雨器电机等
蓄电池车辆用直流电动机基本技术条件:JB 5335—1991	原机械工业部电器工业局发布	蓄电池供电的电动工业车辆(叉车、搬运车、牵引车、堆垛车)及汽车用的直流电动机(包括牵引电动机和油泵、转向等的辅助电动机)

JB 6480—92 与 TB/T 2436—2006 两个标准的对比见表1-8。

表1-8 JB 6480—92 与 TB/T 2436—2006 标准对比

类别	JB 6480—1992	TB/T 2436—2006
与国际标准的关系	参照采用国际电工委员会 IEC—349—1971 标准	同左
适用范围	见表1-7	见表1-7
最高和最低电压	从直流接触网受电时,最高为额定电压的1.2倍,最低为额定电压的0.67倍 热电机车或车辆上用主发电机和牵引电动机的最高电压为满功率调整曲线上所示的最高电压	牵引系统的最高电压和最低电压相对应的电压,并应考虑到接在线路与电机之间的任何变压器或控制设备的调整率。瞬时电压不包括在内,最低电压也不包括在起动或加速过程中由于控制设备引起的任何衰减量
最大电流	电力机车用直流和脉流牵引电动机为2倍额定电流。热电机车用直流牵引电动机为1.7倍额定电流。辅助牵引电动机为1.5倍额定电流	按制造厂提供的产品技术条件上规定的最大电流值

（续）

<table>
<tr><th>类别</th><th>JB 6480—1992</th><th>TB/T 2436—2006</th></tr>
<tr><td>最大工作转速</td><td>机车或车辆正常运行到最高速度时相应牵引电动机的转速，且应换算到动轮对轮缘全磨耗状态下</td><td>由制造厂规定的牵引电动机的最高转速，金属车轮时为全磨耗，橡胶动轮为最小滚动直径</td></tr>
<tr><td>运行环境条件</td><td>海拔不超过 1200m，遮荫处空气最高温度不超过 40℃，最低温度不低于 −25℃</td><td>最低温度不低于 −40℃，其余同左</td></tr>
<tr><td>温升限值</td><td>牵引电动机绕组和换向器的温升限值/K
<table>
<tr><th>名称</th><th>B</th><th>F</th><th>H</th><th>200</th></tr>
<tr><td>定子</td><td>130</td><td>155</td><td>180</td><td>200</td></tr>
<tr><td>转子</td><td>120</td><td>140</td><td>160</td><td>180</td></tr>
<tr><td>换向器</td><td>120</td><td>120</td><td>120</td><td>120</td></tr>
</table>
注：对于封闭式电动，同一绕组各部位的温度均匀性较好，其允许温升可比上表提高 10K</td><td>各绝缘等级下的换向器温升限值均为 105K，对笼型转子和阻尼绕组，均采用电温度计法，温升应以不损害任何绕组或其他部件为限</td></tr>
<tr><td>换向试验</td><td>所有牵引电动机除最大电流工况下，允许火花等级除 2 级外，其余工况下，均不超过 $1\frac{1}{2}$级</td><td>在稳定条件下进行换向试验时，不论电压的高低及磁场大小，在小于或等于额定电流的可连续运行工况下不超过 $1\frac{1}{2}$级；最大电流工况不超过 2 级</td></tr>
<tr><td>滚动轴承的温度限值</td><td>在 40℃ 及以下环境温度时，滚动轴承的温度限值为 95℃</td><td>在 40℃ 及以下环境温度时，滚动轴承的温升限值为 55K</td></tr>
<tr><td>绕组的典型“发热、冷却”曲线</td><td>取最初试制 4 台电动机的平均曲线，作为典型曲线，以后批量生产时，由于材料和工艺变动的影响而比典型曲线高时，可重作新曲线，但不得比原曲线高 5%</td><td>未规定台数，可按具体情况取最初若干台之值作典型曲线，但应不超过电机产品技术条件所规定的“规定特性”的上偏差之值</td></tr>
<tr><td>特性修正时用的基准工作温度</td><td colspan="2">B、F、H 级绝缘为 115℃，200 级绝缘为 150℃</td></tr>
<tr><td>额定工况下两方向转速差值的容差</td><td>≤40kW：<5%
>40～75kW：<4%
>75kW：<3%</td><td>应不超过该点正、反转速平均值的 3%</td></tr>
</table>

（续）

类别	JB 6480—1992	TB/T 2436—2006
热态绝缘电阻 R	$R \geq U/1000$，最小不低于 0.5MΩ，U 为电机额定电压	不得低于 1MΩ/1kV
绝缘介电强度试验	对直接或间接由接触网供电的绕组，额定直流耐压：600V 及以上和交流接触网耐压：$2.25U+2000$V，额定直流耐压：600V 以下时为 $2U+1500$V	与接触网直接或间接相连接的绕组： 工频交流耐压：$2.25U+2000$V 直流耐压：$3.825U+3400$V
	对不是直接或间接由接触网供电的绕组，额定直流耐压：$2U+1000$V	对不是直接或间接由接触网或通过中间调节电路供电的绕组： 工频交流耐压：$2U+1000$，最小 1500V 直流耐压：$3\sim4U+1700$，最小 2550V
	电压为 36V 及以下的蓄电池供电的电机绕组，额定直流耐压：$2U+500$V	

从以上两个标准有关条款的对照分析，可以看到以下几条：

①对牵引电动机的温升、转速特性及换向性能等三项关键性能的考核是基本一致的，无明显差异。

②由于 JB 6480—1992 适用的范围较广，特别是要兼顾到一些功率较小的、电压较低的工矿牵引电动机，因此有关条款的规定必须更加详尽，而 TB/T 2436—2006 主要针对铁道干线用牵引电动机，所以条款非常简明扼要。

③两个标准对其他一些主要性能项目，如超速试验、绝缘介电强度试验、振动试验、换向器表面径向圆跳动、绕组匝间绝缘性能试验、起动试验等，其基本要求也非常一致。

七、牵引电动机的工作定额及额定数据

每个型号的牵引电动机都有一块铭牌，铭牌上规定了电动机的工作定额及在此定额下工作时的主要额定数据，如额定功率、额定电压、额定电流和额定转速等。必须正确全面地了解了牵引电动机的工作定额及其主要额定数据后，才能合理、有效和可靠地使用这些电动机。

电动机的工作定额是电动机制造厂商根据国家技术标准的要求，对电动机全部电气量和机械量的数值以及运行的持续时间及顺序所做的规定，它表示了电动机的运行特点和工作能力，是制造厂商对电动机进行分析和验证设计合理性的依据，也是应用部门正确使用电动机的依据。

牵引电动机按照运行的持续时间和顺序，工作定额分为连续工作制定额、小时工作制定额和断续周期工作制定额三种。连续工作制定额是指牵引电动机在所规定的电压和

磁场的条件下连续运转，而各部件的温升不超过允许的限值时所能承受的电流和其他相应的定额数值；小时工作制定额是指电动机在所规定的电压和磁场下，从冷态开始运行1h后各部件温升不超过允许的限值时所能承受的电流和其他相应的定额数值；断续周期工作制定额是指电动机长期运行于一系列完全相同的时间间隔，而温升不超过允许的限值时所能承受的电流和其他相应的定额数值。

在规定的工作定额的条件下，制造厂商对牵引电动机的每一个电气量和机械量所规定的数值，称为电动机的额定数据，它主要有额定功率、额定电压、额定电流、额定转速、额定励磁电压、额定励磁电流等。

根据各种不同的机车实际运行的特点和情况，牵引电动机大多采用连续工作制定额和小时工作制定额作为保证定额，如铁道干线电传动内燃机车用直流牵引电动机均采用连续定额作为保证定额，而大中小型工矿电机车用牵引电动机则一律采用小时工作制定额作为保证定额，工矿电机车等各种辅助牵引电动机，则采用各种工作制定额的都有，采用连续工作制定额的较多，如ZQD-4、ZQD-8、ZQD-11等，而ZQD-15、ZQD-15-1、ZQD-40等均采用断续工作制定额（负载持续率为25%～50%），个别的也有采用小时工作制定额。铁道干线电力机车早期生产的均采用小时工作制定额作为保证定额，如ZQ-650、ZQ-800等，而近期生产的脉流牵引电动机，如ZD-114和ZD-115等，又采用了连续工作制定额作为保证定额。总之，不管使用于何种机车的牵引电动机，无论其功率的大小，到底采用何种工作制定额作为其保证定额，没有一个一贯的统一的规定。到底是采用哪一种工作制定额作为考核、验收和使用的依据，还需看该电动机的产品技术条件的规定，并应在牵引电动机的铭牌中示出。

应该说明，各型机车随着工作条件的不同，运行区段、牵引负载、道路条件等是千变万化的，不论是何种工作制定额只可能是对实际运行负载的持续时间和顺序的一种模拟和推测，尽可能地做到较为符合实际。如小时制工作定额，不论何种机车，都不可能要求严格从冷态开始，按小时制功率和电流使用1h而必须停下来，小时工作制定额本身并不决定某种强制的运行情况，它在历史上是由无通风的电车牵引电动机的实际经验形成的，所以工作制定额的保证定额应视为是牵引电动机制造厂商设计制造时的保证值，也可作为用户用作验收时的技术依据。

对于各种不同工作制之间，牵引电动机的输出功率（或电枢电流）之间近似的相互关系如下：

对封闭式，连续工作制功率≈0.45～0.5小时工作制功率

对防护式自通风，连续工作制功率≈0.8～0.95小时工作制功率

对独立通风，连续工作制功率≈0.85～0.95小时工作制功率

对封闭式及防护自通风，50%的负载持续功率≤小时工作制功率

说明：在上述关系式中，对低电压、高转速、大功率的电动机可取较大的上限数值，反之，对较高电压、低转速且功率较小的电动机则采用于较小的数值。

对短时工作制和断续周期工作制电动机的额定功率（或额定电流之间）有以下近似关系：

30min 短时工作制≈15%断续周期工作制

60min 短时工作制≈25%断续周期工作制

90min 短时工作制≈40%断续周期工作制

牵引电动机最常用的工作定额是连续工作制定额和小时工作制定额两种，因此其额定数据主要有此两种工作制定额下的功率、电流、电压和转速等。

（1）额定小时工作制功率　额定小时工作制功率是指电动机在规定的通风条件下，从冷态开始运行 1h，各部件的温升不超过允许值，电动机轴上输出的机械功率称为额定小时工作制功率。

（2）额定连续工作制功率　额定连续工作制功率是指电动机在规定的通风条件下，从实际冷态下连续运行，电动机各发热部件的温升不再升高（或在 0.5h 的变化量不超过 0.5K），即使各项损耗所产生的热量全部传给冷却空气的平衡状态，这时电动机轴上所输出的机械功率称为额定连续工作制功率。

小时工作制功率和连续工作制功率在概念上的区别在于：小时工作制功率主要取决于电动机热容量的大小，即在小时工作制工况下工作时，电动机各发热部件所产生的热量，主要被电动机各结构部件的热容量所吸收，只有少部分热量传给外界冷却空气。而连续工作制功率条件下，则主要取决于电动机的散热能力。因此，通风能力越强，风道越畅通，风阻越小、散热表面积越大的电动机，连续工作制功率也越大。

（3）额定电流　额定电流是指电动机按一定的电气量和机械量运行时所能允许的从电源输入的电流值。这里所谓的“允许”是指在该电动机所规定的绝缘等级下的温升限值不被超过而言的。由于外界环境温度的高低对允许的额定电流有一定的影响，因此基本上所有的牵引电动机都规定最高外界环境温度为 40℃。

（4）额定电压　额定电压是指电动机正常工作时加在电动机输入端上的电压，它是设计电动机时的计算电压。

由直流接触网直接供电的直流牵引电动机，当其全部并联运行时，电动机的额定电压亦即等于接触网的额定电压。

由交流接触网供电的电力机车上，由于采用了在高压侧或低压侧的调压装置，牵引电动机的额定电压就不再受接触网电压的限制，可以根据机车和牵引电动机在设计和运用时最经济、最可靠的前提下进行选取。

在电传动内燃机车中，为了充分利用柴油机的功率，机车常按恒功率条件下来运行，牵引电动机的主发电机的输入电压有一个调节范围，可在额定高电压和额定低电压之间调节使用，因此电动机的导电部分和各项绝缘规范应以最高电压来考虑。

（5）额定转速　额定转速是指电压、电流和功率都为额定值时电动机旋转部分的转速，用 r/min 表示。额定转速下运行的电动机可以保证电动机有效材料的充分利用，因此是每一个电动机最有利的转速，在此条件下，牵引电动机的各项发热、电磁、机械、换向等参数必须选取到最经济、最合理的范围内，以使牵引电动机能最可靠、最有效地工作。

八、牵引电动机的性能和基本技术要求

1. 直流牵引电压

我国的直流电力牵引电压分级，由国家标准 GB/T 999—2008《直流电力牵引额定电压》中予以明确规定，它适用于铁道干线、工矿和城市交通的架线式直流电气化运输。该标准已替代 GB 999—1967 和 GB/T 999—1988 标准。

本标准规定了直流电力牵引系统所使用的额定电压，适用于正常条件下直流电力牵引系统的供电线路电压。

由电网供电的牵引电动机，受同时运用机车台数及与变电所之间距离变动等原因的影响，使牵引变电所的负载变化很大，电网电压的波动范围也大，按规定，直流电力牵引电压波动为额定值（见表 1-9）的 67% ~120%，为此，牵引电动机在设计和制造时，应采取有效措施，以适应剧烈的电压波动。

表 1-9 直流电力牵引电压系列

牵引变电所母线电压/V	电机车受电器的电压/V		
额定值	最小值	额定值	最大值
3300	2000	3000	3600
1650	1000	1500	1800
825	500	750	900
600	375	550	660
275	170	250	300

牵引系统供电电压的标称（额定）电压、最低电压和最高电压，目前可由用户与制造厂协商确定，并优先采用 IEC 60850 所给出的标准供电电压值。

2. 最大过载电流

牵引电动机应能承受频繁的起动和剧烈的过载冲击，此时的转矩可达到额定值的 2 ~2.5 倍，蓄电池叉车和搬运车用的直流主牵引电动机更高，达 4 ~4.5 倍。此外，为能在电网电压降到下限时能满足在整个牵引特性的范围内的运行要求，电动机应能承受的最大过载电流见表 1-10，换向火花不超过 2 级。

表 1-10 直流牵引电动机的最大过载电流

牵引电动机种类	最大过载电流	试验时间/s
干线牵引电动机	$1.7I_N$	正、反向各 30
辅助牵引电动机	$1.5I_N$	60
蓄电池叉车、搬运车用主电动机	$2\sim3I_N$	正、反向各 30
其他牵引电动机	$2I_N$	正、反向各 30

注：I_N—电动机额定电流。

3. 允许温升

对于用不同耐热等级绝缘材料的电动机部件，在试验台上测得的温升限值见表1-11。

表 1-11　电动机绕组和换向器的温升限值　　　　（单位：K）

电动机的部件	测量方法	耐热等级				
		E	B	F	H	200
定子绕组，同步发电机和电动机的磁场绕组	电阻法	115	130	155	180	200
所有其他旋转绕组	电阻法	105	120	140	160	180
换向器、集电环	电温度计法	105	120	120	120	120
笼型转子绕组、阻尼绕组	电温度计法	温升应以不损害邻近绕组或其他零部件为限				

注：200 级即通常所指的 C 级绝缘。

对于封闭式电动机的各部件允许温升极限值，可比表 1-11 的规定值提高 10K。

当环境温度在 40℃及以下时，滚动轴承温升值为 55K，或温度限值为 95℃，如滚动轴承和润滑脂的技术条件允许其温度限值超过 95℃时，则该滚动轴承的温度限值，可在产品技术条件中另行规定。

4. 换向

直流或脉流牵引电动机的换向试验应在实际热状态下进行，单方向运转电动机的试验在规定的运转方向进行。每一换向试验工况应持续 1min。对于双方向运转的电动机，每一试验工况应在两个方向上各运转 30s。在第二个方向换向试验之前，允许先用不超过额定电流、在额定电压下，在第二方向运转 5min，使电刷获得较好接触，但不得移动电刷位置。每一工况试验的换向火花等级，应不超过表 1-12，及表 1-13 的规定，且无机械损坏、闪络、环火及影响电动机正常运转的永久性损伤。对用于再生制动或电阻制动的牵引电动机，应选择制动特性上换向条件最困难的工况来进行。辅助牵引电动机的换向工况和允许的火花等级见表 1-14。

表 1-12　电力机车牵引电动机换向试验工况和允许火花等级

项次	电压	电流	转速	磁场级	允许火花等级
1	最高电压	最大电流	—	最大磁场级	2
2		最大电流		最深削弱磁场级	2
3		额定电流		最大磁场级	$1\frac{1}{2}$
4		额定电流		最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
5		—	最高转速	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$

表 1-13 热电机车用牵引电动机换向试验工况和允许火花等级

项次	电压	电流	转速	磁场级	允许火花等级
1	额定低电压	额定低电压下的额定电流	—	最大磁场级	$1\frac{1}{2}$
2	额定低电压	额定低电压下的额定电流	—	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
3	与最大电流的乘积等于额定输入功率时的电压	最大电流	—	最大磁场级	2
4	额定高电压	额定高压下的额定电流	—	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
5	额定高电压	—	最高转速	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$

表 1-14 辅助牵引电动机的换向试验工况和允许火花等级

项次	电压	电流	转速	磁场级	允许火花等级
1	最高电压	—	最高转速	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
2	最高电压	额定电流	—	最深削弱磁场级	$1\frac{1}{2}$
3	最高电压	最大电流	—	最大磁场级	2

5. 超速

牵引电动机在热状态下应能承受2min的超速试验。试验后电动机各转动部件（如电枢线圈、绑扎、槽楔、轴承及换向器等）应无任何影响电动机正常运转的机械损伤和永久变形，超速试验要求见表1-15。

表 1-15 直流牵引电动机的超速试验要求

电机类别	运行情况	超速时转速 n_T
主牵引电动机	单台电动机拖动整台机车或正常运行时全部电动机并联	$1.25n_{max}$
	数台电动机装于同一机车，有自动保护装置，防止超速或有机械联锁装置，防止各电动机间发生转速差异	$1.2n_{max}$
	无自动保护或机械联锁装置，两台电动机固定串联连接	$1.35n_{max}$
辅助牵引电动机	—	$1.25n_{max}$

注：n_{max}为考虑轮箍半磨耗后，相应在机车最大速度时电动机的最大转速。

6. 转速特性

电动机转速和电枢电流的关系曲线（取两个方向转速的平均值）称为转速特性曲线。此项试验应在电动机热态下，各绕组温度接近基准工作温度时进行测定，对所有耐热等级的绝缘材料均以115℃作为绕组的基准工作温度。

早期生产的牵引电动机，仅要求在额定电流下任一方向的转速与规定转速的偏差在±5%范围内，近期生产的牵引电动机则要求整条转速特性曲线（至少为三个点）与设计转速特性曲线一致，最初试制生产的10台电动机的曲线的平均值称为“典型转速特性曲线”，并以此作为以后批量生产时检查试验的依据。当同一型号的电动机由几个厂商制造时，则要求其典型转速特性曲线一致，以保证多台牵引电动机并联运行时的负载分配均匀，以提高使用可靠性。我国成批生产的东风-4型4000hp内燃机车上装用的ZQDR-410型牵引电动机，则更要求将转速偏差值分成7个组，每台机车上的6台电动机的转速实测值为同一组，以保证机车上各牵引电动机支路内电流分配均匀。牵引电动机的转速容差见表1-16。

此外，对额定工况下两方向转速的差值，也要求在额定电压、额定电流和最大磁场级时，牵引电动机两个方向的转速差值对此两方向转速的算术平均值的百分数容差不超过3%。

表1-16 牵引电动机的转速容差

励磁率	设计容差		制造容差	
	要考核的最高转速极限下(±%)	要考核的最低转速极限下(±%)	要考核的最高转速极限下(±%)	要考核的最低转速极限下(±%)
最大磁场级	5	3	3.5	3
在100%到50%满磁场之间的削弱磁场级	6	4	5	3
小于50%满磁场的削弱磁场级	7	5	7	5

注：电动机的额定功率不超过75kW时，按表内基数另加1%的容差。如用户和制造厂商达成协议，则当电动机额定功率为15kW及以下时按上表内基数另加2%的容差。

7. 绝缘介电强度试验

牵引电动机的各绕组应能在热态下承受60s的工频绝缘介电强度试验（即耐电压试验），应无闪络击穿现象，试验电压值规定如下：

1）直接或间接由接触网供电的绕组，额定电压在600V及以上时，耐电压试验的有效值按$2.25U_N+2000V$，额定电压在600V以下时，按照$2U_N+1500V$计算。

2）对交流接触网供电的绕组，试验电压值（有效值）按$2.25U_N+2000V$计算。

3）对不是直接或间接由接触网供电的绕组，按$2U_N+1000V$计算，最低为1500V。

4）对蓄电池车辆用直流电动机，当蓄电池的标称电压为48V及以下时，耐电压试验值为500V，对48V以上时，电动机绕组为1000V。

耐电压试验对绕组绝缘具有一定的破坏性，因此不宜重复多次进行。如必须进行复试时，应比上列规定值降低 15% 。对修理后使用的绕组，应比上列规定值降低 25% 。

8. 绕组匝间绝缘介电强度试验

本项试验又称短时升高电压试验，用 1.3 倍额定电压值（对电传动内燃机车用电机，指对应于主发电机额定高电压时之值）下进行 3min 的升高电压试验，匝间绝缘应不击穿，试验时电机在空载状态下进行。

9. 电动机绕组在热状态时的绝缘电阻

电动机绕组在热状态时的绝缘电阻应不低于下式所求得的值：

$$R=\frac{U_N}{1000}$$

式中 U_N——电动机的额定电压。

绝缘电阻最小不低于 0.5MΩ。

九、直流牵引电动机的励磁和励磁级

在串励直流、脉流电动机的定子上装设着磁场绕组，当该绕组中通以电流，就会产生励磁磁场。直流电动机的工作特性与其励磁电流产生的方式，即所谓的励磁方式有着十分密切的关系。串励直流电动机就是其励磁绕组在主电路中是与电枢绕组串联连接在一起的，其励磁电流是和外电路中的电枢电流相同的，因此其负载电流即电枢电流的大小直接影响其励磁磁场的大小。

所谓串励直流电动机的励磁率，是指在给定的电枢电流下，励磁绕组中的实际励磁安匝数与该励磁绕组中通过同一电枢电流时最大励磁安匝数的比值，以百分数来表示。励磁安匝数就是励磁电流之值（安培数）与励磁绕组实际匝数的乘积，所以当实际有效励磁绕组匝数不变时，励磁安匝数之比也等同于励磁电流值之比。

满磁场级：当通过励磁绕组的电流等于电枢电流时，此时的励磁率为 100% ，相应的磁场级即为满磁场级。

最大磁场级：当电动机以使用中允许的最大励磁率运行时，相应的磁场级就是最大磁场级。一般最大磁场级即为满磁场级。

最小磁场级：当牵引电动机以使用中允许的最小励磁率运行时，相应的磁场级就是最小磁场级（或最深削弱磁场级）。

削弱磁场级：当牵引电动机以比最大励磁率小的励磁率下运行时，相应的磁场级即为削弱磁场级。

固定分路磁场级：脉流牵引电机中，为了限制变压器电动势对换向的影响，通常的办法是减小主磁通的交变分量，即在主极绕组上并联一个固定值的分路电阻，一般为 5% ~10% 的削弱磁场，称为固定分路磁场级。

十、牵引电动机安全使用的极限条件

为了提高牵引电动机的使用可靠性并延长其工作寿命，必须注意以下四个极限条件。

1. 发热强度极限

为了将电动机带电部件与机座、铁心等接地部件隔开和将电位不同的各带电部位隔开，电动机各部分使用了多种绝缘材料。电动机在运行中发热，使受到剧烈的温度变化和长时期的热作用，其绝缘性能逐步变坏，直至完全丧失而击穿。因此，绝缘结构的热老化是使绝缘材料损坏的主要原因。为使牵引电动机在规定寿命期限内可靠运行，必须针对各种不同型式、不同结构、不同通风方式的牵引电动机选用不同的绝缘等级，从而规定出合适的发热强度极限，以期达到安全使用寿命的目的。

但是材料和结构单纯以其耐热性区分的观点是不全面的，为了充分发挥绝缘材料的特性，提高经济合理性，应按电动机的不同绝缘部位所达到的最高实际温度，结合材料的力学、化学、物理性能综合考虑，有区别地选用绝缘结构中的各种组成材料，而不必苛求不分使用部位而一律选用所规定的同一绝缘等级的材料。

习惯上以负载电流的大小间接表征牵引电动机在实际运行中的发热。为了充分利用牵引电动机的发热强度，可以通过牵引计算与发热校验，以不超过表 1-11 中列出的温升为界限，因此在实际运行中，短时超过铭牌上所规定的额定电流是允许的。

在修理时，采用彻底清扫散热表面、绕组与铁心间做成密封的整体绝缘并整体浸渍，则将大大改善电动机散热，提高电动机的负载能力。

2. 电气强度极限

根据我国铁道干线机车牵引电动机损坏原因统计，绝缘材料的自然老化并不是引起电动机接地故障的主要原因（除大坡道区段的个别电枢外），主要是由于振动、过电压冲击、固有损伤等原因造成绝缘材料机械损伤所致，这一情况对牵引负载往往不足的窄轨工矿小机车牵引电动机而言，而更是如此。在强烈的振动作用下，绝缘层是逐步破损的，特别是在电枢线圈出铁心槽口及定子线圈内孔与磁极铁心间，空气中的炭粉、铜粉、铁粉等侵入绝缘层的机械破损处，逐步构成向内深入的导电通路，在高电压场强作用下，绝缘材料内部气隙中发生电离放电，体积传导电流迅速增大，直至耐电压击穿。

为了提高牵引电动机各绕组的耐压强度，最重要的是选取合适的绝缘结构及其组成材料，采用可靠的绝缘工艺，并按规程进行整机及零部件工序间的耐压试验。

3. 换向强度极限

换向通常是直流电动机运行中的薄弱环节，它在很大程度上限制了直流牵引电动机的功率、短时过载能力、转速限值及最大磁场削弱深度。因换向不良造成强烈火花或环火面烧损，约占牵引电动机总故障的 1/3。

剧烈的振动冲击、恶劣的环境条件（油污、灰尘侵入）及使用维护不当，是造成各类牵引电动机换向不良的三个主要原因。据估计，全国各矿山在用的牵引电动机中，换向器表面色泽正常、换向良好的，只占到总台数的 20%，往往在制造厂商试验台上，各工况下换向性能优良的电动机，装车运行后不久，火花即明显增大，就是这些原因造成的。所以，为提高各种牵引电动机的换向强度极限，除在电动机设计时控制好各换向参数（如电抗电动势、换向电动势及补偿、换向器最大片间电压、火花因素、换向区占中性区的百分比等）外，精心的制造工艺质量及正确的使用维护，也是不容忽视的重要因素。

牵引电动机在运行中需控制的主要换向参数及运行参量间的关系见表1-17。

4. 机械强度极限

机械强度极限主要是指电动机的旋转部分（电枢及其绑扎、槽楔、轴承等）所能承受的最大转速时的应力及强度的限值，它主要受材质、基础件水平及电机制造工艺水平的限制。为确保安全运行，除精心设计和制造这些旋转部件外，在使用中，在任何工况下都不应超过最大工作转速，特别是在下坡道上滑行的机车，常只注意脱离电的接触，运行速度越来越快，易造成电枢甩散飞箍或轴承碎裂。

表1-17 控制的主要换向参数与运行参量关系

控制的主要换向参数	需控制的运行参量
1. 换向元件中的电抗电动势 e_R 正比于 nI	1. $n \leqslant \eta_{max}$ $I \leqslant I_{max}$
2. 换向器片间最大电压 $$U_{kmax}=\frac{U_{kep}}{\alpha_i}\left(1+0.7\alpha_i\frac{AN_{ar}}{AN}\right)$$ 式中 U_{kep}——平均片间电压 α_i——计算极弧系数 AN_{ar}——电枢反应磁动势 AN——负载总磁动势	2. 换向器片间云母厚度为0.8mm时，U_{kmax}不大于35V；当片间云母厚度为1.15mm时，U_{kmax}不大于45V。对小功率辅助牵引电动机，极限允许值≤65V 磁场削弱系数 $\beta=\frac{磁场电流}{电枢电流}$ $AN=\beta AN$ 因此β不得小于允许的β_{min}
3. 火花因数 Ψ_N $$\Psi_N=C\left(\frac{40}{D_K}\right)\frac{1.5i_y^2L_Cv_K}{2\beta_KL_S}\times10^2$$ 式中 L_C——当量电感，换向元件的自感量和互感量之和(H) i_y——被短路的换向元件内产生的环流(A) D_K——换向器工作面直径(cm) β_K——换向片距(cm) L_S——每刷握电刷总长度(cm) v_K——换向器工作面线速度(m/s) C——当量电感增大倍数($C=p/p_s$)	3. 对中小型牵引电动机，当 $\Psi_N<(5\sim10)\times10^{-2}$时，可以得到满意的换向 根据目前的制造工艺水平，$v_k$ 以不超过50～60m/s为宜 C 即磁极对数 p 和刷握对数 p_s 之比，当采用金额电刷时，$C=1$
4. 电位梯度：即换向器单位圆周长度上的最大电压(V/cm) $$\varepsilon_M=\frac{U_{kmax}}{\beta_K}$$	对于一般牵引电动机，考虑过电压后的极限值为80～90V/cm

十一、牵引电动机的绝缘

在电动机中，使用着很多种绝缘结构材料。对电动机不同的绝缘部位，选用几种绝

缘材料，适当组合搭配而成的一个整体结构称之为绝缘结构。对于各种不同形式、不同使用条件、不同工作要求的电动机，应根据其特殊的要求，选用不同的绝缘材料和绝缘结构，以确保电动机的运行可靠性、使用寿命以及合理的技术经济指标等。电动机中的绝缘材料和绝缘结构有如下两方面的作用。

1）将带电部件与机壳、铁心等接地部件隔开，这一部分称为电动机的对地绝缘或主绝缘。如果电动机中带电部件与机壳、铁心等对地部件的绝缘状态被破坏，就称为电动机“接地”。

2）将电动机中电位不同的各带电部分隔开，这一部分称为电动机的匝间绝缘，根据不同电位点所处位置和结构的不同，还有层间绝缘、相间绝缘等。如果电动机中电位不同的带电部分间的绝缘状态被破坏，就叫做“短路”。不论是接地还是短路，都是电动机的一种故障状态。

绝缘材料的一般概念是不导电的物质，如气体和一部分的液体以及除去金属与电刷以外的几乎所有的固体都是绝缘体。对电动机的绝缘状态应经常进行检查，常用的仪表即为绝缘电阻表（兆欧表）、万用表等。一般的绝缘故障，一旦发生就很严重，如带电部分与接地部分或电位不同的带电部分之间接触很实，这种状态称为“死接地”或“死短路”，此时的接地和短路点较易找到，可做出有效的判断和修复。修理中常碰到一种似通非通、似断非断的状态，这种称为“活接地”或“活短路”，这种接地和短路经常要在热状态下或有一定外力或旋转状态下才会出现，这会给修理工作带来一定的困难和麻烦。电动机的任何部位，一旦检查出有接地或短路的征兆，应尽快修复，故障状态下继续使用会导致绝缘被严重击穿而烧损电动机。

直流牵引电动机的主要绝缘部位与组成如下：

- 直流牵引电动机绝缘
  - 电枢绝缘
    - 电枢线圈外包主绝缘
    - 电枢线圈槽衬主绝缘
    - 电枢铁心槽口加强 U 形绝缘
    - 电枢绕组端部层间绝缘
    - 电枢绕组端部支架绝缘
    - 均压绕组绝缘
    - 换向器片间绝缘
    - 换向器对地 V 形环绝缘
  - 定子绝缘
    - 主极绕组对地绝缘
    - 换向极绕组对地绝缘
    - 补偿绕组绝缘
    - 定子连线和引出线绝缘
  - 其他部分绝缘
    - 电刷装置、刷架绝缘
    - 引出线装置绝缘

电动机各部分的绝缘材料的品种、规格、包扎层数和方式、绝缘工艺等应根据该部位耐电压的高低、实际温度、散热条件、电磁和机械应力的大小、潮湿和灰尘油污侵入程度等因素综合考虑选用，这些通常规定在绝缘结构中。

牵引电动机所用的绝缘材料和绝缘结构，选用时应考虑满足以下一些基本要求。

1）耐热性能方面　要满足使用部位在长期热环境下的介电性能和机械强度，用作对地主绝缘处的绝缘材料，应符合电动机技术条件中所规定的绝缘等级，使不致因发热过甚而影响了电动机的合理使用寿命。

2）电气强度方面　应具有较高的绝缘电阻和耐电压强度，电动机绝缘应能承受长期的额定电压（包括额定高电压和最高电压）和短时的冲击过电压（包括高频谐波浪涌电压）。

3）力学性能和耐磨性能方面　电动机绝缘应能承受过载、冲击负载及频繁的起动、制动和正反向旋转等工作状态下所引起的电磁力和机械应力。良好的力学性能和耐摩擦的性能，也是绝缘材料良好的加工工艺性能所必须具备的，否则绝缘材料在包扎或拉紧压缩状况时易产生绝缘破损、减薄等，使耐热及耐电压强度受到影响。

4）导热性能及防潮抗污性能。

5）热态下的绝缘电阻性能　牵引电动机中电刷的磨损较快，另外各种潮气及油污等侵入电动机内部也很严重，因此导电的尘埃易积聚在绝缘体的表面，严重时形成电气击穿（称为爬电击穿，以区别于空气介质中漏电击穿），因此绝缘材料应具有高的热态绝缘电阻。

按绝缘材料在牵引电动机中的应用部位及作用，绝缘种类可划分如下。

①匝间绝缘和层间绝缘　其作用是将电动机中电位不同的带电部分隔开，以免发生匝间短路或层间短路。属于这一类的有电枢线圈匝间绝缘，主极和换向极线圈匝间和层间绝缘，换向器片间绝缘等。因为匝间的电位差异不大，因此匝间绝缘包扎的层数也不多。在一般情况下，匝间绝缘只需包扎一层或仅靠导线本身已经带有的绝缘（如漆包线本身涂覆的漆，单玻璃丝包线、双玻璃丝包线本身缠绕的玻璃丝，薄膜导线本身绕包的薄膜等）即可，匝间绝缘本身是牵引电动机绝缘结构中较薄弱的环节，在线圈绕制及垫放匝间绝缘时，应注意不得有疏松破损、垫放易位及产生机械损伤等。

②对地绝缘　它是电动机的主绝缘，其电性能和热性能必须满足运行状态所提出的要求。对地绝缘的包扎层数及厚度，取决于绝缘材料本身的电气性能和电动机的额定电压。

③外包绝缘　它的作用是保护对地绝缘免受机械损伤，并使整个线圈结实平整，同时一定程度上也起到补充对地绝缘的作用。

④填充及衬垫材料绝缘　填充材料用于填补线圈的空隙，使整个线圈充实、平整，同时大大提高了线圈的导热能力和电气强度。典型的填充材料为填充泥，它是用石棉粉、石英粉及相应级别的热固性绝缘漆调和而成，目前用环氧灌注胶及聚酯毡、聚砜毡较多，工艺性简单，一体化也非常好。衬垫材料应用的场合较多，主要作用是保护绝缘结构在工艺操作时免受机械损伤，各种厚度的衬垫云母板、环氧酚醛玻璃布板、机械强度高的薄膜漆布等在牵引电动机的各种绝缘场所常被用作为衬垫材料。

⑤换向器绝缘　分换向器的片间绝缘和对地绝缘两种。片间云母板的含胶量应尽可能地少，以避免在受热后排胶太多易使换向器收缩变形。对地绝缘是指 V 形云母环及云母绝缘套筒，一般用塑型云母板多层经焙烘压制而成，常用厚度为 1.5 ~ 2mm，已能

满足高电压牵引电动机的使用要求。

在选择绝缘材料时，应注意介电性能与导热性的矛盾，要介电性能好，希望厚度要厚些，但导热性就差，所以要兼顾其综合性能及加工工艺性。

电气绝缘材料的耐热分级、允许温升及裕量见表1-18。

表1-18 电气绝缘材料的耐热分级、允许温升及裕量

极限温度/℃	绝缘材料	允许温升/K	环境温度/℃	温度裕量/℃
90	未浸渍的棉麻丝绸纸等	50		
105	浸渍过的棉麻丝绸纸等	60	40	5
120	合成的有机薄膜及有机磁漆等	75	40	5
130	以合适的树脂粘合或浸渍涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等	80	40	10
155	以合适的树脂粘合或浸渍涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等	100	40	15
180	以相应级的树脂粘合或浸渍涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等	125	40	15
>180	同C级及未经浸渍处理的云母、陶瓷、石英等			

通过试验证明，绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构，在极限温度下能长期使用，即在该温度下能获得经济的使用寿命。应用于电气设备如电机电器和变压器中的绝缘结构，有许多因素作用其上，如温度、湿度、电场、机械振动、冲击、周围大气和介质以及由于温度变化所引起的热冲击、热膨胀应力等。绝缘材料的耐热性分级，即以正常条件下所作用的各项因素为基础，而对其按能长期使用的极限温度进行分级。特殊需要时，可减少或增加绝缘结构的使用寿命，即可将其使用于超过或低于上述规定的极限温度。当绝缘结构处于特殊运行条件下，则应根据其所经受的特殊因素的作用而分别规定其极限温度和允许温升。

由于直流牵引电动机拖动机车行车需要功率大，而安装在车体转向架下轮轨之间，又要求小的体积，这种特定的环境条件只有通过提高其绝缘的极限温度和允许温升，使其发热加剧，允许的使用功率加大，使用寿命缩短，以此来换取机车拉得多、跑得快的目的。直流牵引电动机的绕组和换向器的允许温升限值见表1-11。

对于封闭式电动机，考虑到部件上的温度分布较均匀，过热点不严重，其各部件的允许温升的极限值，可比表1-11中所规定值提高10K。

温升试验时，如果冷却空气在10～40℃之间，则测得的温升可不作修正。

检查试验时，在被试电动机停机开始冷却后1min内，对每个绕组测出其一个电阻值或温度值，并记录取得读数的时间，计算得到的该点的温升值，与相应的“典型发热、冷却曲线”同一时刻的温升值相比较，绕组温升不得超过典型曲线上相应读数的8%或10K（取两者中的较大值）。如果个别电动机温升超出典型曲线的值比容差大，可

在保证定额下做型式试验，如能通过，也应予接受。

滚动轴承的温度限值为95℃，当环境温度在40℃及以下时，允许温升为55K。

十二、直流牵引电动机的工作特性

牵引电动机的工作特性是指当牵引电动机的外施端电压为恒定值时，电动机的转速 n、电动机的转矩 M、电动机的效率 η 和电枢电流 I_a 之间的关系曲线，即有

转速特性曲线 $n=f(I_a)$

转矩特性曲线 $M=f(I_a)$

效率特性曲线 $\eta=f(I_a)$

影响牵引电动机工作特性的因素很多，如与电动机的结构、励磁方式、发热及磁路参数的选取、电动机磁路饱和状态及相应机车配套参数等均有十分密切的关系。

牵引电动机工作特性常用的参数有：

U——加在电动机上的端电压（V）；

I_a——电枢电流（A）；

n——电动机转速（r/min）；

M——电动机转矩（N·m）；

P_2——输出功率（kW）；

η——电动机效率（%）。

1. 转速特性 $n=f(I_a)$

不论是哪一种励磁方式的电动机，它的转速 n 对电枢电流 I_a 的变化关系，可以根据下面的基本公式求得，即

$$U=E_a+I_a\Sigma R=\frac{pN_C}{60a}\Phi n\times10^{-8}+I_a\Sigma R$$

E_a——电动机的反电动势（V）；

ΣR——电动机绕组的总电阻（Ω）；

N_C——电枢绕组的有效导体数；

p——电动机的磁极对数；

a——电动机电枢绕组的并联支路对数；

Φ——每极磁通量（Wb）。

将上式解 n，得

$$n=\frac{U-I_a\Sigma R}{\dfrac{pN_C}{60a\times10^8}\Phi}=\frac{U-I_a\Sigma R}{C\Phi}$$

式中 C——电机常数，$C=pN_C/(60a\times10^8)$。

对于已制成的电动机，其磁极对数、并联支路对数及总有效导体数均为一定值，所以 C 是不变的。当电动机端电压 U 保持恒定，而负载电流 I_a 变化时，分子部分 $U-I_a\Sigma R$ 变化很小，因此定性分析时，可以近似认为电动机的转速和其磁通量呈反比例变化。当牵引电动机为串励直流电动机的情况下，其负载电流就是串励励磁电流，因此最

终可以得出串励直流牵引电动机的转速特性为其转速随电流成反比变化的结论。

2. 转矩特性 $M=f(I_a)$

牵引电动机在牵引运行时，作用于其轴上的转矩 M(N·m) 与其电枢旋转的角速度 ω(rad/s) 的乘积即为电动机的功率（W），即

$$P=M\omega$$

因为

$$\omega=\frac{2\pi n}{60}$$

则

$$P=M\frac{2\pi n}{60}$$

在计算中功率的单位为千瓦，则电动机功率 P(kW) 可表示为

$$P=\frac{Mn}{9555}$$

电动机的轴功率（kW）也可以用输入电压和输入电流与效率的乘积来表示，即

$$P=UI\eta\times10^{-3}$$

将上两式中的功率 P 消去后可得到电动机的转矩与电流之间的变化关系为

$$M=9.555\frac{UI\eta}{n}$$

在串励直流牵引电动机的情况下，当负载电流增大时，转速 n 呈双曲线的形状下降，忽略其他因素的微小变化，可以得到转矩 M 随负载变化的关系曲线。

3. 效率特性 $\eta=f(I_a)$

电动机在工作时会产生各种损耗，其中铜损耗和附加损耗随着负载电流的变化而变化，而且是和电流的二次方成正比，这类损耗称为变值损耗，可用比例关系 $K'I^2$ 来表示。第二类损耗为铁损耗和机械损耗，此两项损耗几乎与负载变化无关，这类损耗称为定值损耗，用系数 K 来表示，因此电动机的总损耗 ΣP 可以写成 $K'I^2+K$。

电动机的效率为输出与输入功率的比值，可用下式来表示：

$$\eta=\frac{UI-\Sigma P}{UI}$$

以 ΣP 代入后

$$\eta=\frac{UI-(K'I^2+K)}{UI}$$

上式就是电动机的效率特性曲线绘制时所用的关系式。分析上式发现牵引电动机效率特性曲线的形状取决于定值损耗 K 和变值损耗 $K'I^2$ 之间的比例关系，而且当 $K'I^2=K$，即定值损耗与变值损耗相等时，电动机将得到最大效率值，亦即总损耗 ΣP 为最小值。

在电动机设计时，可以采用控制两种损耗比值的方法，以求得在额定电流或预计电动机经常工作的电流点附近得到较高的电动机效率，这样就能使牵引电动机在负载变化的范围内，获得最佳最合理的效率。铜损耗与铁损耗值的大小可以通过调节绕组内导体的电流密度及电枢铁心齿部的磁通密度来达到。

牵引电动机额定工况时的效率与其额定功率的大小有最密切的关系，如 ZQDR-410 牵引电动机额定效率达到93%，而 100kW 以下的工矿直流牵引电动机额定效率为 80%~90%。

4. 计算实例

下面以新 10t 550V 架线式工矿电机车用 ZQ30-4 主牵引电动机为例，进行其工作特性的计算及特性曲线的绘制。

ZQ30-4 牵引电动机设计原始数据：

小时制功率 $P_{eh}=30\text{kW}$

额定电压 $U_e=550\text{V}$

机车小时速度 $v_h=10.5\text{km/h}$

机车最大速度 $v_m=21\text{km/h}$

机车小时牵引力 $F_h=19300\text{N}$

动轮直径 $D_{bk}=680\text{mm}$

其他辅助计算如下：

齿轮传动比（二级齿轮减速）

$$i=43/10\times53/13=17.53$$

电动机小时转速

$$n_{eh}=\frac{iv_h\times10^3}{60\pi D_{bk}}=\frac{17.53\times10.5}{60\pi\times0.68}\text{r/min}=1435\text{r/min}$$

电动机额定转矩

$$M_e=974\frac{P_{eh}}{n_{eh}}=974\times\frac{30}{1435}\text{kgf}\cdot\text{m}=20.36\text{kgf}\cdot\text{m}$$

电动机最大转速

$$n_m=\frac{21}{10.5}\times1435\text{r/min}=2870\text{r/min}$$

额定小时电流

$$I_h=\frac{P_{eh}\times10^3}{U_e\eta_e}=\frac{30\times10^3}{550\times0.885}\text{A}=62\text{A}$$

其中，额定效率 $\eta_e=0.885$ 为假设值。

此外，还经过一系列的计算，如电枢有效层的计算，取电枢直径 $D_a=245\text{mm}$、槽数 $Z=41$、每槽并列导体数 $U_n=3$、电枢绕组形式为单波绕组、电枢绕组并联支路数 $2a=2$、电枢绕组元件匝数 $N_s=2$、电枢绕组有效导体数 $N_C=492$、换向片数 $K=ZU_n=41\times3$ 片 $=123$ 片等。此外，在经过了各部分的磁路及发热参数计算后，即可列表进行工作特性的计算。

ZQ30-4 直流牵引电动机转率特性计算：

电动势常数 $C_e=\dfrac{pN_C}{60a}=\dfrac{2\times492}{60\times1}=16.4$

转矩常数 $$C_M=\frac{pN_C}{2\pi a}=\frac{2\times 492}{2\pi\times 1}=156.6$$

电动机的电动势 $$E=U_e-I\Sigma R_{110}-2$$

电动机电枢、主磁极、换向极绕组总电阻

$$\Sigma R=0.5117\Omega$$

电枢反应额定去磁磁动势 $$AN_{ar}=\frac{AS\tau}{2}=1905\text{A}$$

式中 AS——线负荷，即单位电枢表面圆周长度上的电流，此处为198A；

τ——极距，即电枢表面上每极的极弧长度，此处为19.24cm。

$$AN'_{ar}=\frac{I}{I_h}\times 1905$$

任意电流值I时的电枢反应去磁磁动势（A）

$$AN'_{ar}=k_pAN_{ar}$$

式中 k_p——任意电流点的去磁系数。

$$n=\frac{E}{C_e\Phi}\times 10^8$$

机车速度（km/h）为

$$v=0.189\frac{D_{bk}n}{i}\times 10^{-3}=7.33n\times 10^{-3}$$

ZQ30-4主牵引电动机特性曲线如图1-2所示。

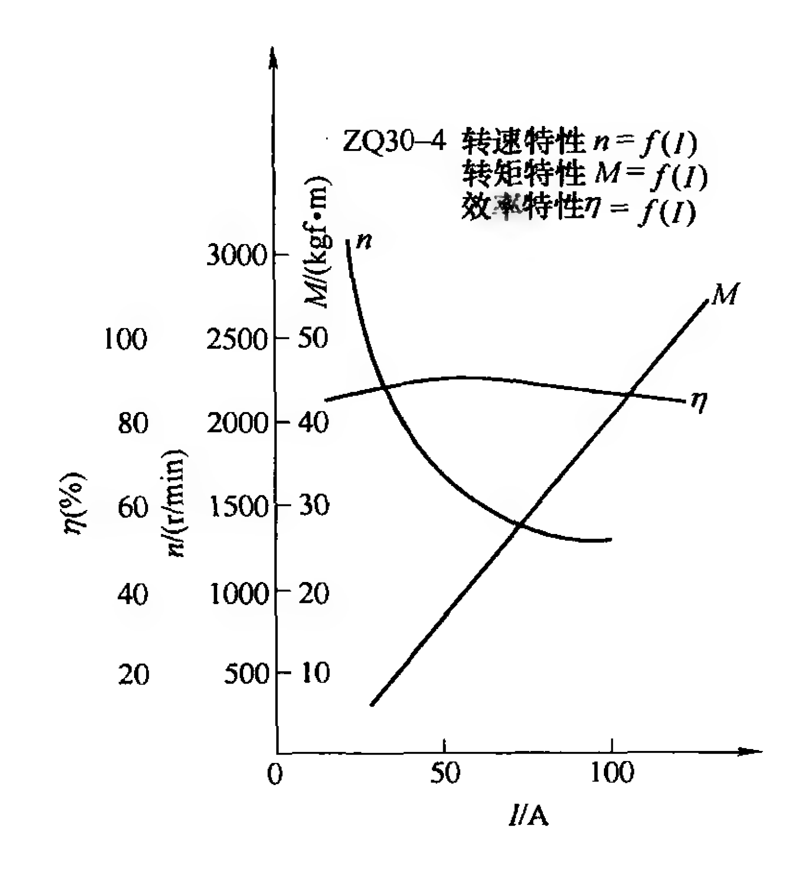


图1-2 ZQ30-4特性曲线

十三、直流牵引电动机的调速

直流电动机最显著的优点是它可以非常方便地在宽广的范围内进行平滑地调速。当在电枢回路内接入调节电阻 r 时，其转速公式如下：

$$n=\frac{U-I_a(R_a+r)-\Delta U_b}{C_e\Phi}$$

式中 ΔU_b——电刷上的电压降。

从上式中可看出，直流电动机可采用调节励磁电流 I_a、调节电枢端电压 U 和电枢回路电阻 r 等方法进行调速，其主要特点及适用范围如下。

（1）调节电枢端电压的调速　此时的电枢电流 I_a 保持不变，则此串励直流牵引电动机的磁通 Φ 也维持恒值，转速 n 随着端电压 U 的变化而改变。此时电动机的输入功率和输出功率随电压 U 和转速 n 的变化而改变，由于此时的转矩不随端电压 U 的变化而改变，转矩保持为一恒定值，因此这种方法适用于恒转矩调速的场合。在直流机车中，常用于在额定转速、额定电压以下的升速和减速。在一些电传动内燃机车上，当主发电机能发出额定高电压时，则可继续升高直流牵引电动机的端电压，使电动机继续升速运行。

（2）调节电枢回路内的串入电阻来调速　当端电压 U 为常值，则转速 n 随电枢回路电阻 r 的减小而升高。当电枢电流 I_a 保持不变则转矩也不变化，因此它也是属于恒转矩调速。在低速时输出功率随 n 的降低而减小，而输入功率不变，因此电动机效率将随 n 的减小而降低。再则，由于电枢回路内串入的电阻 r 在通电运行中会有功率损耗，因此这种调速方法的经济性很差，常称为非经济挡位上运用。

（3）调节励磁电流调速　在直流串励电动机中，常在励磁串励绕组上并联分路电阻（在并励或他励式直流电动机上，则要在并励或他励励磁绕组回路中串接电阻），这样可使串励绕组电流和磁通 Φ 得以减小，使达到升高转速的目的。

当电枢电流保持额定值不变时，电动机的额定电压也不变，因此其输入功率、输出功率及效率均基本不变，因此这种调速方法适用于额定转速以上的恒功率调速。此时的输出转矩与磁通的变化成正比，此时的转速则与磁通的变化成反比。

这种减小励磁电流、减小磁通来提高转速的恒功率调速方法，在各种机车的调速中应用十分广泛，由于是减小磁场向上调速，所以常称为弱磁调速或削弱磁场调速。

在小型的蓄电池式电机车中，弱磁调速的形式和方法很多，如可以减少部分匝数甚至改变磁极数的弱磁调速法。如2.5t 蓄电池式矿用电机车用的 DJZB-4.5 型直流串励牵引电动机，其主要技术数据如下：

额定电压　直流 45V；

额定电流　全磁场 105A，弱磁场 130A；

额定功率　全磁场 3.5kW，弱磁场 4.5kW；

额定转速　全磁场 960r/min，弱磁场 1300r/min；

最大转速　2100r/min；

工作制　小时制；

电机质量　130kg。

本电动机的定子部分有两套励磁绕组，分别为 C_1 和 C_2 一对，C_3 和 C_4 为另一对。其中第一对励磁绕组的末端 C_2 和第二对励磁绕组的首端 C_3 在内部已固定并头，并引出到接线盒内的 C_2—C_3 接线柱上。因此接线盒内共有五个接线柱即电枢两个 S_1 和 S_2，串励绕组三个即 C_1、C_2—C_3 和 C_4。电动机在弱磁场时，只使用 C_1、C_2 一对磁极线圈。考虑到增加整个电动机寿命，当使用到一定年限后，减弱磁场时可使用另一对磁极线圈 C_3、C_4。

各种机车的运行情况是比较复杂的，它经常需要按照线路断面的变化情况，来选择合适的行驶速度，加上其起动和制动又比较频繁，因此要求牵引电动机有足够大的调速范围。利用磁场削弱的方法，不但能提高机车的经济运行速度，增加机车的经济运行级位，而且还能充分发挥出机车的功率。这是由于串励电动机在额定电压下运行时，其特性曲线并不是一条等功率曲线（双曲线），而是随着机车速度的提高，电动机发挥的功率逐渐减小。但在使用磁场削弱后，在同一转速下，牵引电动机的电枢电流也相应增大，因而牵引电动机的功率也相应增大，达到接近恒功率的目的。为了扩大机车的调速范围，特别是为了发挥机车高速时牵引电动机的功率，通常采用磁场削弱来进行调速，即通过某种办法使磁场减小，从而达到调节速度的目的。

直流串励电动机磁场削弱的方法是在电动机串励励磁绕组的两端并联一级或几级分路电阻，如图 1-3 所示。

当磁场削弱电阻 R_s 支路中的开关 K 尚未闭合时，流过励磁绕组的电流 I_f 等于电枢电流 I_a，这种状态称为“满磁场”。如果削磁分路电路 R_s 上的开关 K 已经闭合，削磁分路电阻 R_s 将对串励励磁绕组 R_f 起分路作用，这时，流过 R_f 的电流总是小于电枢电流，于是当串励励磁绕组的匝数不变时，串励励磁绕组的励磁安匝数将下降、励磁磁场减小，把这种状态称为“磁场削弱”。用这种方法来进行磁场削弱比较简单且方便，只要改变削磁分路电阻的电阻值和级数，就能获得所需要的几个不同的磁场削弱级。

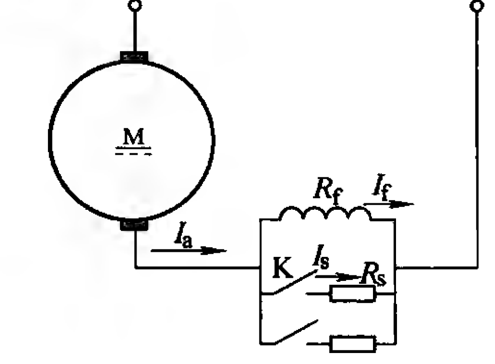


图 1-3　直流串励电动机

R_f—串励绕组电阻　I_f—串励绕组电流　R_s—削弱磁场电阻的电阻值　I_s—流过削磁电阻中的电流　I_a—电枢电流

牵引电动机磁场削弱的程度可以用磁场削弱系数 β 来表示，即

$$\beta = \frac{AW_f}{AW_{ff}} = \frac{I_f}{I_f + I_s} = \frac{R_s}{R_s + R_f}$$

由此可知，磁场削弱系数 β 值是由分路电阻 R_s 的大小决定的，而与励磁绕组的匝数无关，如果需要改变磁场削弱系数，只需改变削磁分路电阻即可。

在采用了磁场削弱后，在相同负载电枢电流 I_a 的情况下，电动机的转速比在满磁场时提高了，整条速率特性曲线也抬高了。如果需要求取在磁场削弱后的转速特性曲线，可以在满磁场下速率特性曲线的基础上方便地获得，如图 1-4 所示。粗实线表示在满磁场下的转速特性曲线，当电枢电流为 I 时的转速为 n。当采用磁场削弱且磁场削弱系数为 β 时，则在横坐标为 βI 时在满磁场转速特性曲线上相对应的转速值 $n_1 = n'$，即为磁场削弱系数为 β 时电动机升高后的转速值，不同 βI 值可得到很多转速值，从而绘

出整条在某一β值下的转速特性曲线，如图1-4中虚线所示。通过几级磁场削弱后，可以扩大牵引电动机的调速范围，也就增加了机车的调速范围。采用削磁调速，因为没有附加的电能损耗，所以电动机的效率不会降低。

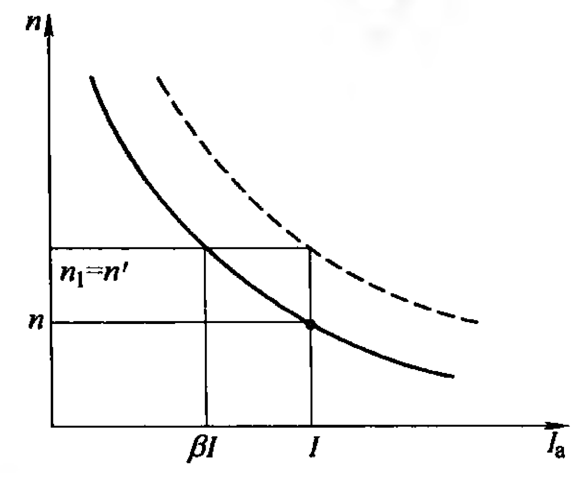


图1-4　满磁场下速率特性曲线

理论上讲，直流串励牵引电动机的磁场削弱可以在任意端电压下进行，但实际上机车的调速通常都是先调节电动机的端电压，在端电压已调到额定值后还需要进一步提高机车的速度时，才使用磁场削弱。随着机车速度的不断提高来逐级加深磁场削弱的程度。最深的磁场削弱系数β_{min}受到电动机换向条件的限制。由于电枢磁场的作用，过分的磁场削弱，会使主磁场畸变太甚，同时电抗电势和最大片向电压、电位梯度等关键换向参数都会增加，使电动机的安全换向得不到保证，甚至会引起换向器上出现环火而烧损电动机。所以在新电动机设计时，都要进行在最深磁场削弱条件下的换向参数的校核和评定，在制成的新牵引电动机出厂时，也要在最深磁场削弱的条件下进行换向试验，以不超过换向强度极限作为判断是否可以合格出厂的依据。

十四、直流牵引电动机的传动计算

机车及牵引电动机传动参数的常用计算公式，有机车的牵引力、运行速度及相应牵引电动机的转速、转矩、功率、计算功率及电动势等。

（1）机车的运行速度v

$$v=0.189\frac{D_{bk}}{\mu}n$$

式中　μ——牵引电动机的传动比；

D_{bk}——动轮滚动圆直径（m）；

n——电动机转速（r/min）；

v——机车运行速度（km/h）。

（2）机车每轴的牵引力F

$$F=367\frac{P_2}{v}\eta_z$$

式中　P_2——每台牵引电动机的输出功率（kW）；

F——每台牵引电动机的牵引力（kgf）；

v——机车速度（km/h）；

η_z——齿轮传动效率。对单级圆柱正齿轮时用0.97～0.975，对二级传动（工矿小机车）为0.92。

机车的每轴牵引力也可用下式计算

$$F=\frac{2M\mu\eta_z}{D_{bk}}$$

式中 M——电动机的转矩（kgf·m）。

求整台机车的牵引力则还应乘以每台机车上牵引电动机的台数。

（3）牵引电动机的转矩 M

$$M = 974\frac{P_2}{n} = \frac{pN}{2\pi a}\Phi I$$

（4）牵引电动机的转速 n

$$n = \frac{\mu v \times 10^3}{60\pi D_{bk}}$$

（5）牵引电动机电枢电势 E_a

$$E_a = \frac{pN}{60a}n\Phi = C_e n\Phi$$

式中 Φ——电动机每极有效磁通（Wb）；

N——电枢总导体数；

p——磁极对数；

a——电枢绕组并联支路对数；

C_e——电势常数。

（6）牵引电动机功率 P

$$P = UI\eta \times 10^{-3}$$

式中 P——牵引电动机输出功率（kW）；

U——牵引电动机的电压（V）；

I——牵引电动机的电流（A）；

η——牵引电动机的效率（%）。

（7）牵引电动机的计算功率

$$P_i = E_a I_a$$

式中 E_a——电枢绕组电势（V）；

I_a——电枢绕组电流（A）。

（8）传动比的选取

电气机车大多采用个别传动装置，即牵引电动机安装在动轮对旁边的两侧车轮之间，牵引电动机的轴与动轮对轴是平行的。一台牵引电动机只带动一个动轮对。牵引电动机的锥度轴伸上热装紧配一个小齿轮，而动轮对的轴上热装紧配一个大齿轮。牵引电动机发出的转矩借助这一对齿轮传递到动轮对上，以驱动列车运行。

动轮滚动圆的直径较大而旋转速度较低，牵引电动机则正相反，希望转速高以获得更大的输出，因此牵引电动机的齿轮传动装置总是减速用的，而减速的比值称为传动比。即

$$\mu = \frac{n_d}{n_N} = \frac{D_Z}{d_Z} = \frac{mZ_1}{mZ_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

式中 n_d——动轮对的额定转速；

n_N——牵引电动机的额定转速；
D_Z——大齿轮的节圆直径；
d_Z——小齿轮的节圆直径；
Z_1——大齿轮的齿数；
Z_2——小齿轮的齿数；
m——齿轮模数。

由于小齿轮受到加工时根切的限制，其齿数 Z_2 不能小于一定值。此外，当机车动轮直径一定时，大齿轮的节圆直径也不能大于一定值。因此传动比 μ 也被限制在一定范围内。各种类型的电气机车其传动比 μ 的大致范围如下：

电力机车、电传动内燃机车、电动汽车轴悬式牵引电动机：μ 在3.5～4.6范围；

工业用电力机车轴悬式牵引电动机：4～5；

有轨电车及小型工业用电机车牵引电动机，其传动比 μ 在6～7范围内；

采用双级传动的矿用小型架线式电机车牵引电动机，μ 在13～20之间；

采用架承式全悬挂并有独立减速器的车辆用牵引电动机，μ 在5.5～8。

例如韶山1型电力机车采用双侧斜齿轮传动，其大小齿轮的齿数分别为88和19，因此其传动比为88/19即4.63。牵引电动机的中心距，即牵引电动机的电枢轴与车轮轴之间的距离，对韶山1型机车用ZQ-650-1牵引电动机，其中心距为595.04mm。又如对采用双级减速传动的ZQ52-4直流牵引电动机，其传动比分别为59/17和54/13的乘积，即14.4。由于它是双级齿轮减速，而不是个别传动系统，所以不存在中心距这个概念，二级齿轮减速的模数为6和8。

传动齿轮的模数 m 及小齿轮的节圆直径 d_z，主要根据齿轮传动的扭矩大小有关，如在单侧齿轮传动情况下，当传递100kgf·m的扭矩时，模数 m 在10～11为好，而 d_z 约为160mm左右。当传动齿轮为正齿时，两齿轮之间的中心距 A 用下式计算：

$$A=\frac{m}{2}(Z_1+Z_2)+0.5\text{m}$$

式中 0.5m——为改善传动齿轮经修正后增加的距离。

从牵引电动机设计性能及技术经济指标的角度，希望传动比越大越好，这样可以获得较小的电动机体积和重量，同时也可得到最经济的持续速度和最大的额定牵引力。但牵引电动机由于其体积、重量及最大允许的界限尺寸所限制，同时受到轴的强度、零部件制造工艺及旋转速度等多方面的限制，传动比及中心距只能在最合理和最佳范围内选取。

第二章　工矿用直流牵引电动机的修理

一、工矿用直流牵引电动机的系列

工矿用直流牵引电动机是指配用于工矿电机车上的电动机，因此其系列完全由工矿电机车系列型谱所决定。

工矿电机车主要是指用于有色金属、黑色金属、石化、煤炭（井下和露天）、矿山及森林地区作为运输之用的有轨矿用电机车。轨距大部为窄轨（600mm、762mm、900mm），少数也有457mm（18″）的更窄轨及1435mm的标准轨。

工矿电机车系列型谱，共有五种分系列型谱组成，其对配套牵引电动机的要求如下。

1. 直流架线式井下矿用电机车（见表2-1）

表2-1　直流架线式井下矿用电机车对配套牵引电动机的要求

粘重/t	电压/V	牵引力/kgf		速度/(km/h)		牵引电动机数量与功率/kW(≥)
		小时制(≥)	长时制(≥)	小时制(≥)	长时制(≥)	
1.5	250	330	(90)	6.5	(9.5)	1×6.5
3	250	580	(160)	7.5	(11)	2×6.5
6	250 550	1210	(340)	10	(13.5)	2×18
10	250 550	1920	(540)	10.5	(14)	2×30
14	250 550	2720	(980)	12.9	(17.7)	2×52
20	550	4000	(1290)	13.2	(19.7)	2×77

2. 直流架线式窄轨露天矿用电机车（见表2-2）

表2-2　直流架线式窄轨露天矿用电机车对配套牵引电动机的要求

粘重/t	电压/V	牵引力/kgf	速度/(km/h)	牵引电动机数量与功率/kW(≥)
		小时制(≥)	小时制(≥)	
9	550	1920(540)	10.5(14)	2×30
14	550	3200(1050)	13.2(18.4)	2×70
20	750	4000(3160)	18.6(19.3)	2×110
40	750	8000(6320)	18.6(19.3)	4×110

3. 蓄电池式井下矿用电机车（见表 2-3）

表 2-3　蓄电池井下矿用电机车对配套牵引电动机的要求

粘重/t	蓄电池电压/V	牵引力/kgf	速度/(km/h)	牵引电动机数量与功率/kW(≥)
		小时制(≥)	小时制(≥)	
2.5	56	300(80)	5.4(8)	1×4.8 2×2.4
5	90	720(200)	7(10)	2×7.5
8	140	1300(360)	7.8(10.5)	2×15
12	192	1680(470)	8.4(11.4)	2×21

注：括号内的数字为参考值。

4. 交流架线式电机车（见表 2-4）

表 2-4　交流架线式电机车对配套牵引电动机的要求

粘重/t	电压/V	牵引力/kgf	速度/(km/h)	牵引电动机数量与功率/kW(≥)
		小时制(≥)	小时制(≥)	
1.5	300	330(90)	6.5(9.5)	1×6.5
3	300	580(160)	7.5(11)	2×6.5
6	300	1210(340)	10(13.5)	2×18
10	300	1920(540)	10.5(14)	2×30
9	660	1920(540)	10.5(14)	2×30
14	660	3200(1050)	13.2(18.4)	2×70

5. 交流架线式准轨电机车（见表 2-5）

表 2-5　交流架线式准轨电机车配套牵引电动机的要求

组合方式	主要参数							
	粘重/t	电压/kV	轴排列形式	牵引力/kgf		速度/(km/h)		牵引电动机数量与功率/kW(≥)
				小时制(≥)	长时制(≥)	小时制(≥)	长时制(≥)	
单机	75	直流 1.5	-2_0+2_0	14	11.4	22.4	23.6	4×220
单机	100	直流 1.5	2_0-2_0	17.2	14.3	29.3	31	4×350
单机	150	直流 1.5	$2_0-2_0-2_0$	25.6	21.4	29.3	31	6×350
单机	(100～110)	单相工频交流，6 或 10	2_0-2_0	20	16.5	30	32	4×410

（续）

组合方式		主要参数							
		粘重/t	电压/kV	轴排列形式	牵引力/kgf		速度/(km/h)		牵引电动机数量与功率/kW(≥)
					小时制(≥)	长时制(≥)	小时制(≥)	长时制(≥)	
联动车组	主控电机车带一个电动自翻车	2(100～110)	单相工频交流，6或10	$2_0-2_0+2_0-2_0$	40	33	30	32	8×410
	主控电机车带两个电动自翻车	3(100～110)	单相工频交流，6或10	$2_0-2_0+2_0-2_0+2_0-2_0$	60	50	30	32	12×410

本系列型谱从制订到现在已有30年的历史，由于生产工矿电机车的制造厂商已大量增加，它涉及了原机械部、煤炭部、铁道部等所属的机车制造厂家，随着众多客户提出了各种不同的现实的使用要求，使工矿电机车实际生产的型号规格及其配套的牵引电机和牵引电器，已经大大超越和丰富了本系列型谱的基本内容，但本系列型谱作为一个指导性的文件标准，作为生产各种类型工矿电机车的基本要求和规范，仍具有一定的现实指导意义。

二、工矿用直流牵引电动机的型号和规格

我国工矿直流串励牵引电动机应用数量最多的是直流架线式井下矿用电机车用的直流串励牵引电动机，尤以井下7t和10t的老型号ZQ-21和ZQ-24使用最普遍，几乎遍布全国所有煤矿井下主巷道内作矿物运输之用，估计总拥有量接近20万台左右。

ZQ-21牵引电动机机座号共有五个规格，包括有ZQ-21、ZQ-24、ZQ-11B、ZQ-12及ZQ-12A。ZQ-21、ZQ-24、ZQ-12A结构尺寸及电磁参数见表2-6。ZQ-24的外形安装与ZQ-21完全相同，仅电压、电流值不一样，功率也基本一致，ZQ-24为参照ZQ-21我国早期的首批自行设计的产品，除主极绕组线规、换向极绕组线规、电枢线圈、换向器及刷盒电刷与ZQ-21有所不同外，其余所有的机械结构零部件及尺寸均完全一致。这给这两种牵引电动机的生产及维修更换带来极大的方便。ZQ-12是早期生产的配用于3t井下250V工矿电机车的主牵引电动机，由于该电动机没有装设换向极，所以换向火花大、电动机使用寿命短，一直是困扰该电动机的关键质量问题，所以后来被ZQ-12A电动机所替代。ZQ-11B是8t防爆蓄电池机车配套的主电动机，有部分零部件或尺寸与ZQ-21是一致的，如五种电动机的电枢直径、电枢槽数、槽形及换向器部分很多都是互相通用的。

表 2-6　ZQ-21、ZQ-24、ZQ-12A 结构尺寸及电磁参数表

序号	电动机型号 结构尺寸 及电磁参数	ZQ-12A	ZQ-21	ZQ-24
1	工作制	小时	小时	小时
2	额定功率/kW	12.2	20.6	24
3	额定电压/V	250	250	550
4	额定电流	59.5	95	50.5
5	额定转速/(r/min)	480	600	600
6	最大转速/(r/min)	1400	1400	1400
7	持续功率/kW	4.8	7.4	9.6
8	持续电流/A	23	34	19.6
9	持续转速/(r/min)	720	926	875
10	电动机质量/kg	420	545	545
11	励磁方式	串	串	串
12	冷却方式	封闭自冷	封闭自冷	封闭自冷
13	安装方式	抱轴式	抱轴式	抱轴式
14	机座形状	八角形	八角形	八角形
15	使用于机车	井下 3t	井下 7t、10t	井下 7t、10t
16	传动比/mm	90/13	90/13	90/13
17	中心距/mm	312	312	312
18	齿轮模数	6	6	6
19	动轮直径/mm	680	680	680
20	牵引力/kgf		1330	1540
21	电枢直径/mm	335	335	335
22	电枢冲片轴孔	70	70	70
23	电枢铁芯长/mm	68	126	126
24	主极铁芯长/mm	78	131	131
25	附极铁芯长/mm	68	126	126
26	极数	4	4	4
27	换向极数	3	3	3
28	槽数	37	43	37
29	每槽片数	5	3	5
30	换向片数	185	129	185
31	电枢绕组形式	单波	单波	单波
32	电枢绕组匝数	3	2	3
33	总导体数	1110	516	1110
34	电枢导体线规	SBECB1.45×4.4	SBECB1.81×6.9	SBECB1.35×4.4
35	槽节距	1～10	1～11	1～10

（续）

序号	结构尺寸及电磁参数＼电动机型号	ZQ-12A	ZQ-21	ZQ-24
36	换向片节距	1～93	1～65	1～93
37	电枢槽尺寸/mm	12.8×36.5	8.95×35.8	10.65～36.1
38	换向器工作面直径/mm	290	290	290
39	云母片厚/mm	0.8	0.8	0.8
40	换向器料排规格/mm	4.68×3.02×49	7.02×4.63×49	4.68～3.02×49
41	换向器片距/mm	4.92	7.06	4.92
42	机壳厚度/mm	40	40	40
43	机座内孔/mm	ϕ485	ϕ485	ϕ485
44	机座止口/mm	ϕ495	ϕ495	ϕ495
45	绝缘等级	B/B	B/B	B/B
46	电枢对地绝缘	0.2 云母搓 $2\frac{1}{4}$	0.2 云母 3 层搓	0.2 云母搓包 3 层
47	定子对地绝缘	0.14 粉云母带半叠包 2 层	0.05 聚酯薄膜及 0.2 云母板各搓包 2 层	0.05 聚酯薄膜及 0.2 云母板各搓包 2 层
48	主极匝数	88.5	54.5	104.5
49	换向极匝数	95.5	39.5	86.5
50	主极线规	SBECB2.83×6.4	SBECB4.1×7.4	SBECB3.05×5.1
51	传动端轴承	32413	32413	32413
52	换向器端轴承	310	310	310
53	主极螺栓	2-M20	2-M20	2-M20
54	换向极螺栓	2-M12	2-M12	2-M12
55	抱轴瓦	尼龙 1010 或 66 $\phi90\times\phi105\times135$	尼龙 1010 或 66 $\phi90\times\phi105\times135$	尼龙 1010 或 66 $\phi90\times\phi105\times135$
56	电动机效率(%)	—	87	86.8
57	极弧系数	0.715	0.715	0.715
58	极距/cm	26.3	26.3	26.3
59	线负载/(A/cm)	314	233	266.5
60	电刷尺寸/mm	16×32	20×50	16×32
61	刷握数	2	2	2
62	主极极身宽	128	128	128
63	电枢电流密度/(A/mm^2)	4.82	3.86	4.41
64	电枢发热因数	1630	900	1174
65	每刷握电刷数	1	1	1
66	刷盖系数	3.25	2.83	3.25

（续）

序号	电动机型号 结构尺寸 及电磁参数	ZQ-12A	ZQ-21	ZQ-24
67	中心气隙/mm	1.5	2	1.2～1.5
68	边缘气隙/mm	1.5+2.5	2+2.5	3.7～4
69	换向极气隙/mm	1.9	2	2

ZQ-12A、ZQ-21、ZQ-24三种牵引电动机还有以下几个问题，在修理时应予以注意和重视。

1）三种电动机的定子对地绝缘现为用聚酯薄膜和云母板捲绕于铁壳框架的结构，虽然基本能适应环境条件使用，但其内框下方与线圈间的漏电距离较小，绝缘也较薄弱，在严重恶劣条件时，水分、油污、炭灰等易集聚于该处，引起对地绝缘电阻降低，最有效的方法是在定子线圈四角拐弯处加包云母带后，然后再外包玻璃丝带。

2）ZQ-12A及ZQ-24定子线圈，由于匝数多，高度超高，在定子装配时，螺栓拧紧后，使线圈内孔拉入到机座内相应的极台时，易擦伤对地绝缘，造成线圈接地，应修锉极台的尖棱毛刺，使线圈内孔能顺利进入。

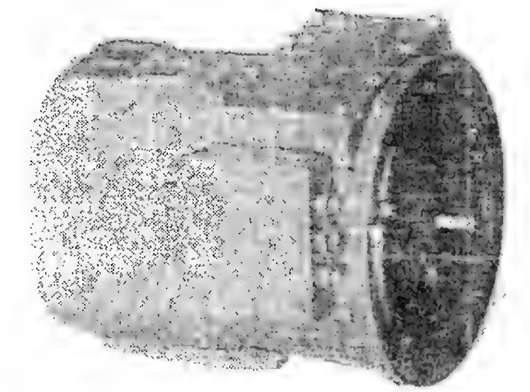


图2-1　ZXQB-7.5/90隔爆直流牵引电动机

3）早期生产的ZQ-24主极绕组，由于小时温升高，一体化手段还较差，在绕组内孔与铁心间，塞进一些铜片或硅钢片薄板，以加强其一体性，在修理时最好改用绝缘布板或毛毡垫条塞入。

4）为使转速特性符合技术条件要求，每个定子后的垫片都已调整到位，在修理时应认真做好记录，各个磁极后垫片的种类、厚度、数量请不要随意变动。

常见的几种工矿直流牵引电动机的外形如图2-1～图2-3所示。

常见国产工矿牵引电动机主要数据见表2-7。

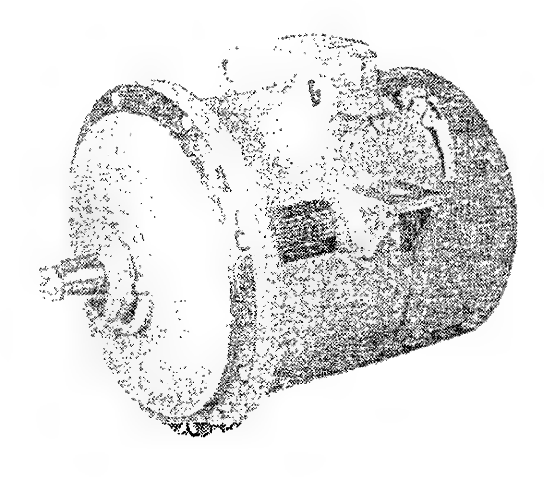


图2-2　ZQ-30-4直流牵引电动机

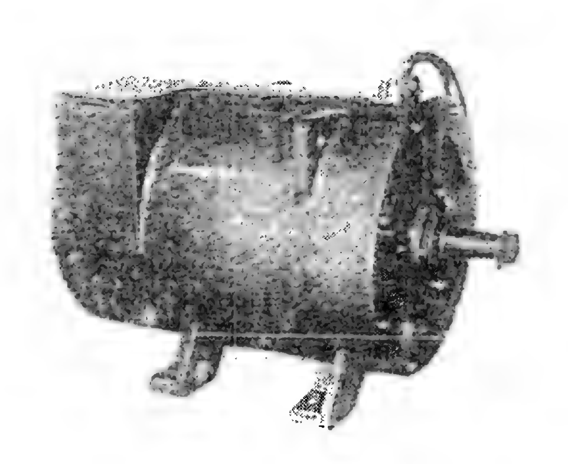


图2-3　ZQ-110直流牵引电动机

表 2-7 国产工矿直流牵引电动机主要数据

序号		名 称	单 位	ZQ-2B	ZQ-4B	ZQ-6/1200B	ZXQB-7.5/90	ZQ-8B
1		机车种类	—	蓄电池式井下矿用电机车				
2		机车规格	t	2.5	2.5	2.5	5	5
3	参数	电机额定电压	V	52	48	60	90	82
4		额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
5		额定功率	kW	2.4	3.5	6.3	7.5	8
6		额定电流	A	60	105	135	100	116
7		额定转矩	N·m	23.8	35	47	64.6	66.1
8		额定转速	r/min	985	960	1280	1110	1180
9		最大工作转速	r/min	—	2400	2000	2220	1800
10		额定效率	%	78.4	69	—	83.4	82.7
11		励磁方式	—	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
13		电机总重	kg	120	137	140	180	175
14	电枢	电枢直径	mm	162	153	152.3	162	162
15		铁心长度	mm	55	137	135.5	145	140
16		槽数	槽	31	35	31	31	31
17		冲片槽尺寸	mm	6.5×21.2	5.5×17.4	6.3×17.3	5.5×19.4	6.5×21.2
18		电枢绕组型式	—	单波	单波(死元件1)	单波	单波	单波
19		每元件匝数	匝	2	1	1	1	1
20		导体尺寸	mm	1.45×4.1	1.56×6.4	2.24×6	2(1.25×3.55)	1.45×4.1

（续）

序号	名称		单位	ZQ-2B	ZQ-4B	ZQ-6/1200B	ZXQB-7.5/90	ZQ-8B
21	换向器刷握	换向器直径	mm	132	116	116	132	132
22		换向片数	片	93	69	61	93	93
23		片间云母厚	mm	0.8	0.8	—	—	0.8
24		梯形铜排尺寸	mm	—	6.2×42	7.35×2.95	—	4.87×44
25		梯形铜排角度	度	—	5°13′2″	5°54′6″	—	3°52′16″
26		刷握数×电刷数	块	4×1	4×1	4×2	4×2	4×2
27		电刷型号与尺寸	mm	D252 10×25	M3 12.5×25	— 16×25	— 10×25	D374B 10×25
28	定子	主极/换向极数	个	4/0	4/0	4/0	4/0	4/0
29		主极匝数	匝	25.5	12	—	—	22.5
30		主极绕组线规	mm	4.1×4.7	2(2.83×6.4)	—	3.15×5.3	3.53×9.3
31		换向极匝数	匝	—	—	—	—	—
32		换向极绕组线规	mm	—	—	—	—	—
33	总装	主极中心/边缘气隙	mm	1	1	—	—	1
34		换向极一、二气隙	mm	—	—	—	1.2/2	—
35		传动端轴承	—	—	207	—	—	32207
36		非传动端轴承	—	—	207	—	—	207
37		悬挂传动方式	—	双级	半弹性	—	—	双级
38		中心距	mm	—	—	—	—	—
39	铜重	主极铜重	kg	5.08	8.8	—	—	13.86
40		换向极铜重	kg	—	—	—	—	—
41		电枢绕组铜重	kg	4.65	3.85	—	—	6.2

（续）

序号	名称		单位	ZQ-11B	ZQ-15B	ZQ-3	ZQ-4-2	ZQ-7
1	机车种类		—	蓄电池式井下矿用电机车		直流架线式井下矿用电机车		
2	机车规格		t	8	8	1.5	1.5	1.5,3
3	参数	电机额定电压	V	120	130	250	100	250
4		额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
5		额定功率	kW	11	15	3.3	3.5	6.5
6		额定电流	A	112	136	16.5	45	31
7		额定转矩	N·m	290	138	26.8	36.2	53.5
8		额定转速	r/min	370	1060	1200	960	1186
9		最大工作转速	r/min	1400	2230	2400	2400	2380
10		额定效率	%	81.8	86	80	77.7	84.4
11		励磁方式	—	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
13		电机总重	kg	480	362	115	120	165
14	电枢	电枢直径	mm	335	245	162	153	162
15		铁心长度	mm	77	105	70	137	140
16		槽数	槽	43	41	31	35	31
17		冲片槽尺寸	mm	8.95×35.8	6.5×22.8	5.7×23	5.5×17.4	5.7×23
18		电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波
19		每元件匝数	匝	2	1	6	2	3
20		导体尺寸	mm	1.81×6.9	2(1.4×4.25)	φ1.25	1.56×2.83	1.16×2.83

（续）

序号		名　称	单　位	ZQ-11B	ZQ-15B	ZQ-3	ZQ-4-2	ZQ-7
21	换向器刷握	换向器直径	mm	290	200	130	116	130
22		换向片数	片	129	123	93	69	93
23		片间云母厚	mm	0.8	1.0	0.8		0.8
24		梯形铜排尺寸	mm	7.02×49	5.41×59	4.87×44	6.2×42	4.87×44
25		梯形铜排角度	度	2°47′26″	2°55′37″	3°52′16″	5°13′2″	3°52′16″
26		刷握数×电刷数	块	4×1	2×2	2×1	2×2	2×1
27		电刷型号与尺寸	mm	D374B 20×50	D374B 16×32	D374B 10×25	M3 12.5×25	D252 10×25
28	定子	主极/换向极数	个	4/0	4/3	4/0	4/0	4/4
29		主极匝数	匝	46	23	96.5	28	72.5
30		主极绕组线规	mm	1.68×22	2(1.8×11.2)	1.25×4.4	2.26×6.9	2.44×4.1
31		换向极匝数	匝	—	18	87.5	—	40.5
32		换向极绕组线规	mm	—	2(1.8×11.2)	1.25×4.4	—	2.44×4.1
33	总装	主极中心/边缘气隙	mm	2	1.5	1	1	1
34		换向极一、二气隙	mm	—	1.8	1.7	—	1.7
35		传动端轴承	—	32413	32313	32207	207	32207
36		非传动端轴承	—	310	92310	207	207	207
37		悬挂传动方式	—	抱轴式	双级	半弹性	—	双级
38		中心距	mm	312	—	—	—	—
39	铜重	主极铜重	kg	36	18.8	4.7	13	13.2
40		换向极铜重	kg	—	7.5	3.8	—	5.6
41		电枢绕组铜重	kg	21.5	10.4	2.9	3.33	5.2

（续）

序号	名称		单位	ZQ-12	ZQ-12A	ZQ-8	ZQ-18-1	ZQ-21
1	机车种类		—	直流架线式井下矿用电机车				
2	机车规格		t	3	3	6	6	7、10
3	参数	电机额定电压	V	250	250	250	550	250
4		额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
5		额定功率	kW	12.2	12.2	18	18	20.6
6		额定电流	A	58	59.5	82	37.5	95
7		额定转矩	N·m	247.6	247.6	128	128.6	334
8		额定转速	r/min	480	480	1365	1365	600
9		最大工作转速	r/min	1400	1400	2870	2870	1400
10		额定效率	%	84.1	82	89	88.7	87
11		励磁方式	—	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	E(后 B)
13		电机总重	kg	500	420	—	—	545
14	电枢	电枢直径	mm	335	335	245	245	335
15		铁心长度	mm	80	68	92	120	126
16		槽数	槽	43	37	41	41	43
17		冲片槽尺寸	mm	8.75×35.6	12.8×36.5	7.7×25.7	6.1×22.4	8.95×35.8
18		电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波
19		每元件匝数	匝	2	3	2	3	2
20		导体尺寸	mm	1×6.9	1.45×4.4	1.80×5.5	1.25×2.65	1.81×6.9

（续）

序号	名称		单位	ZQ-12	ZQ-12A	ZQ-8	ZQ-18-1	ZQ-21
21	换向器刷握	换向器直径	mm	290	290	200	200	290
22		换向片数	片	215	185	123	123	129
23		片间云母厚	mm	0.8	0.8	1.0	1.0	0.8
24		梯形铜排尺寸	mm	3.94×49	4.68×49	5.26×56	5.41×59	7.02×49
25		梯形铜排角度	度	1°40′27″	1°56′45″	2°55′37″	2°55′37″	2°47′26″
26		刷握数×电刷数	块	2×1	2×1	4×2	4×1	2×1
27		电刷型号与尺寸	mm	D214 20×50	D374B 16×32	D374B 2(10×25)	D374B 10×25	D374B 20×50
28	定子	主极/换向极数	个	4/0	4/3	4/4	4/4	4/3
29		主极匝数	匝	92.5	88.5	43.5	89.5	54.5
30		主极绕组线规	mm	2.83×7.4	2.83×6.4	2.24×5	2.24×5	4.1×7.4
31		换向极匝数	匝	—	95.5	35.5	53.5	39.5
32		换向极绕组线规	mm	—	2.83×6.4	2.24×5	2.24×5	4.1×7.4
33	总装	主极中心/边缘气隙	mm	2	1.5	1.8/2.6	1.8/2.6	2
34		换向极一、二气隙	mm	—	1.9	3	3	2
35		传动端轴承	—	32413	32413	32313	32313	32413
36		非传动端轴承	—	310	310	310	310	310
37		悬挂传动方式	—	抱轴式	抱轴式	双级	双级	抱轴式
38		中心距	mm	312	312	—	—	312
39	铜重	主极铜重	kg	42	34.6	18.5	23.6	38
40		换向极铜重	kg	—	15.6	8.8	6.7	12
41		电枢绕组铜重	kg	22	24.8	12.6	7.5	24.5

（续）

序号	名称		单位	ZQ-24	ZQ-30	ZQ30-2 30-4	ZQ-46A	ZQ-46B
1	机车种类		—	直流架线式井下矿用电机车				
2	机车规格		t	7、10	10	10	14	14
3	参数	电机额定电压	V	550	250	550	250	550
4		额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
5		额定功率	kW	24	30	30	46	46
6		额定电流	A	50.5	134	61	212	96.5
7		额定转矩	N·m	390	204	204	846	800
8		额定转速	r/min	600	1435	1435	530	560
9		最大工作转速	r/min	1400	3014	3014	2050	2050
10		额定效率	%	86.8	89.7	90.5	90.6	90.6
11		励磁方式	—	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级		B/B	B/B	B/B	B/B	B/B
13		电机总重	kg	545	390	410	1005	1005
14	电枢	电枢直径	mm	335	245	245	440	440
15		铁心长度	mm	126	160	175	150	150
16		槽数	槽	37	41	41	43	43
17		冲片槽尺寸	mm	10.65×36.1	6.7×22.5	6.5×22.8	10.8×35	10.8×35
18		电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波(死元件1)	单波(死元件1)
19		每元件匝数	匝	3	1	2	1	1
20		导体尺寸	mm	1.35×4.4	1.45×7.1	1.4×4.25	1.81×6.4	1.81×6.4

（续）

序号	名称		单位	ZQ-24	ZQ-30	ZQ30-2 30-4	ZQ-46A	ZQ-46B
21	换向器刷握	换向器直径	mm	290	200	200	390	390
22		换向片数	片	185	123	123	171	171
23		片间云母厚	mm	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
24		梯形铜排尺寸	mm	4.68×49	5.41×59	5.41×59	7.32×70	7.32×70
25		梯形铜排角度	度	1°56′45″	2°55′37″	2°55′37″	2°6′	2°6′
26		刷握数×电刷数	块	2×1	2×2	2×2	2×2	2×2
27		电刷型号与尺寸	mm	D374B 16×32	D374B 2(16×32)	D374B 3(12.5×25)	D214 25×40	D214 25×40
28	定子	主极/换向极数	个	4/3	4/4	4/4	4/4	4/4
29		主极匝数	匝	104.5	27.5	64.5	36	82
30		主极绕组线规	mm	3.05×5.1	2(2.63×7.4)	2.81×7.1	3.05×22	1.5×22
31		换向极匝数	匝	92.5	17.5	35.5	25	50
32		换向极绕组线规	mm	3.05×5.1	2(2.63×7.4)	2.81×7.1	3.8×16.8	1.9×16
33	总装	主极中心/边缘气隙	mm	1.2/1.5	1.8/2.6	1.8/2.6	3	3
34		换向极一、二气隙	mm	2	3/0.3	2.6/0.2	4	4
35		传动端轴承	—	32413	32313	32313	32617	32617
36		非传动端轴承	—	310	310	310	62613	62613
37		悬挂传动方式	—	抱轴式	双级	双级	抱轴式	抱轴式
38		中心距	mm	312	—	—	371.5	371.5
39	铜重	主极铜重	kg	32.8	24.3	31.5	81	81.5
40		换向极铜重	kg	13.8	10.8	11.68	32.6	28.5
41		电枢绕组铜重	kg	27.4	10.6	11.23	41	42

（续）

序号	名称		单位	ZQ-52 52-4	ZQ-78 （原82）	ZQ-110	ZQ-76	ZQ-98
1	机车种类		—	直流架线式工矿电机车			直流电动车辆	
2	机车规格		t	井下14	井下20	露天20、40	地铁	地铁
3	参数	电机额定电压	V	550	550	750	750/2	750/2
4		额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
5		额定功率	kW	52	78(82)	110	76	98
6		额定电流	A	105	154(162)	161	230	290
7		额定转矩	N·m	390	665	884	557	620
8		额定转速	r/min	1300	1200	1212	1330	1540
9		最大工作转速	r/min	2800	2455	2500	3080	2930
10		额定效率	%	91.5	92	91.47	88.7	90.8
11		励磁方式	—	串	串	串	串	串（自调磁）
12		定子/转子绝缘等级		B/B	H/B	B/B	B/B	H/B
13		电机总重	kg	645	765	865	680	710
14	电枢	电枢直径	mm	310	331	331	320	327
15		铁心长度	mm	200	220	286	226	190
16		槽数	槽	45	39	39	47	43
17		冲片槽尺寸	mm	9.3×38.2	10.2×30.6	10.1×29.2	7.85×35	8.1×33.4
18		电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波、平放
19		每元件匝数	匝	2	1	1	1	1
20		导体尺寸	mm	1.81×6.9	2(1.45×5.9) 原1.56	2(1.16×4.7)	2(1.35×5.9)	4×6.3

（续）

序号	名称		单位	ZQ-52 52-4	ZQ-78（原82）	ZQ-110	ZQ-76	ZQ-98
21	换向器刷握	换向器直径	mm	264	305	305	285	280
22		换向片数	片	135	195	195	141	129
23		片间云母厚	mm	1.1	1.1	1.1	1.4	1.4
24		梯形铜排尺寸	mm	6.085×68	4.27×62.5	4.27×62.5	5.89×67.5	6.72×71
25		梯形铜排角度	度	2°40′	1°50′46.1″	1°50′46.1″	2°33′11.5″	2°47′26″
26		刷握数×电刷数	块	2×2	4×1	4×1	4×2	4×2
27		电刷型号与尺寸	mm	D374B 16×32	D374B 16×50	D374B 16×50	D374B 20×32	D374B 2(10×32)
28	定子	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
29		主极匝数	匝	39.5	30	33	30	13+12
30		主极绕组线规	mm	4.1×7.4	1.81×22	1.81×22	2.26×22	3.15×25,3.36×20
31		换向极匝数	匝	39.5	29	30	21	21
32		换向极绕组线规	mm	4.1×7.4	1.81×22	1.81×22	2.26×22	2.8×28
33	总装	主极中心/边缘气隙	mm	2.75	2.8	2.8	5.8	3.5/7
34		换向极一、二气隙	mm	4/0.5	5/0.5	5/0.5	5/0.5	6/1
35		传动端轴承	—	32413	27313	32315	32313	32313
36		非传动端轴承	—	410	7315	61312	62310	62310
37		悬挂传动方式	—	双级	双级	—	弹性	弹性
38		中心距	mm	—	—	—	—	—
39	铜重	主极铜重	kg	35.6	36	45.8	45	41.7
40		换向极铜重	kg	27.4	25.8	33	27	33
41		电枢绕组铜重	kg	31.9	35.5	22.2	22.2	30.5

（续）

序号	名称		单位	ZQ-60H	ZQ-100	ZQ110-1	ZQ-220	ZQ350-1
1	机车种类		—	直流电动车辆	直流电动车辆		直流准轨架线工矿电机车	
2	机车规格		t	无轨电车	无轨电车	电动客车	80	100、150
3	参数	电机额定电压	V	600	600	1500/2	1500/2	1500
4		额定工作制	—	S2	S2	S2	S2	S2
5		额定功率	kW	60	100	110	220	350
6		额定电流	A	113	183	163	325	250
7		额定转矩	N·m	436	745	1094	4050	4400
8		额定转速	r/min	1340	1300	980	530	775
9		最大工作转速	r/min	—	2500	1600	1830	1790
10		额定效率	%	88.3	91.5	90.8	90.6	99.4
11		励磁方式	—	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级	—	H	B/B	B/B	B/B	B/B
13		电机总重	kg	710	730	1200	2920	3150
14	电枢	电枢直径	mm	280	294	331	450	560
15		铁心长度	mm	310	300	360	450	340
16		槽数	槽	41	37	39	57	63
17		冲片槽尺寸	mm	10×26.5	10.7×28.2	10.1×29.2	10.2×43.2	12.6×48
18		电枢绕组型式	—	单波	单波	单波	单波	单波
19		每元件匝数	匝	1	1	1	1	1
20		导体尺寸	mm	2(1×4.4)	2(1.50×5.0)	2(1.35×4.7)	2(1.81×7.4)	2(1.45×8.6)

（续）

序号	名称		单位	ZQ-60H	ZQ-100	ZQ110-1	ZQ-220	ZQ350-1
21	换向器刷握	换向器直径	mm	250	250	305	385	495
22		换向片数	片	205	185	195	171	315
23		片间云母厚	mm	0.8	0.8	1.1	1.0	1.4
24		梯形铜排尺寸	mm	—	4.22×59.5	4.27×62.5	7.15×75	4.31×82
25		梯形铜排角度	度	—	—	1°50′46.1″	2°6′	1°8′34.3″
26		刷握数×电刷数	块	4×2	4×2	4×1	4×2	4×2
27		电刷型号与尺寸	mm	D374B 20×32	D374B 16×32	D374B 16×50	D374B 20×50	D374B 20×32
28	定子	主极/换向极数	个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
29		主极匝数	匝	—	20	33	32	53
30		主极绕组线规	mm	2.44×13.5	2.0×28	1.81×22	3.5×25	3×25
31		换向极匝数	匝	—	26.5	30	25	47
32		换向极绕组线规	mm	1.81×16.8	2.0×25	1.81×22	4.7×18	2.44×30
33	总装	主极中心/边缘气隙	mm	1.5/3	2.5/5.5	2.8	3.25	8/16
34		换向极一、二气隙	mm	3.5	4.5/0.5	5	4	8.8/1.2
35		传动端轴承	—	—	46313	32319	32424	42422
36		非传动端轴承	—	—	2310	62312	92417	42422
37		悬挂传动方式	—	弹性	弹性	抱轴式	抱轴式	抱轴式
38		中心距	mm	—	—	422	462.25	506
39	铜重	主极铜重	kg	—	—	57.6	172	212
40		换向极铜重	kg	—	—	41.4	86	123
41		电枢绕组铜重	kg	—	—	29.6	78	133

三、工矿用直流辅助牵引电动机的型号和规格

在电力机车和内燃机车上，带动空气压缩机、通风机、升弓泵等设备的电动机和辅助发电机通称为辅助牵引电动机，由于需承受剧烈的电压波动和短时过电流的冲击，特别是空压机电动机还要求能适应频繁的起动和较大的起动转矩倍数，因此大多采用串励电动机。辅助发电机则要求较高的电压稳定性，驱动电动机的转速变化小，常采用复励电动机，以便兼得耐受电压冲击和稳速的特性。

直流辅助牵引电动机常见故障、原因及防止方法见表2-8。某矿实际使用工况见表2-9。

表2-8 直流辅助牵引电机常见故障及原因

类别	常见故障及原因	防 止 方 法
电气击穿和烧损	1）电网电压超高，易使导体匝间、对地、电气间隙和绝缘体表面漏电距离被击穿放电 2）对550V以上较高电压级的辅助电机，由于体积小，其绝缘结构及制造工艺必须相适应 3）导体过细，在振动冲击下易出故障 4）换向片数多而薄或片间电压过高，特别是采用塑料换向器时，较易烧损	1）电网电压波动不允许超过规定值 2）绝缘结构及其电气强度要正确和足够，绝缘处理及工艺要按规程 3）设计上充分考虑安全可靠性如焊接时并一段粗导线绕上 4）改进设计，550V及以上电机不宜采用塑料换向器
阻尼电阻太小	辅助牵引电动机在起动时需串入电阻，以限制起动电流并在频繁的接上和断开电源时起阻尼稳定作用，在损坏更换或修理中，如阻尼电阻值变小，则电动机实际端电压将升高而烧损电动机	要按制造厂规定串接阻尼电阻
超速使用	1）电网电压超高 2）复励辅助牵引电机的他励或并励绕组故障失励（如接触器触点合不上，他、并励线圈短路或断路） 3）串励辅助牵引电动机在负载不足下运用 表2-9示出ZQD-4和ZQD-5辅助牵引电动机在某矿山的实际使用工况	1）减小网压的波动 2）设计和制造上采取措施，避免他，并励绕组短路和断路 3）改变控制电路接线，确保他或并励绕组先于串励绕组合上。应避免串励辅助电动机在欠负载下使用，必要时可减小功率或降低额定转速
环境温度高	装于车体内的辅助电动机，周围空气温度达50℃以上，加上空压机局部热辐射，加速了绝缘的老化烧损	改善电动机的冷却方式和条件，采取措施降低环境温度

表 2-9　ZQD-4，ZQD-5 辅助牵引电机在某矿实际使用工况

<table>
<tr><th rowspan="2">电机型号</th><th rowspan="2">使用于机车型号</th><th rowspan="2">工作制</th><th rowspan="2">功率/kW</th><th rowspan="2">额定电压/V</th><th rowspan="2">实际电网电压/V</th><th colspan="2">电流/A</th><th colspan="2">转速/(r/min)</th><th rowspan="2">最大转速/(r/min)</th><th colspan="2">阻尼电阻/Ω</th></tr>
<tr><th>额定</th><th>实用</th><th>额定</th><th>实际</th><th>规定</th><th>实用</th></tr>
<tr><td>ZQD-4</td><td>ZL-20</td><td rowspan="2">连续</td><td>4</td><td>750</td><td>930</td><td>7.6</td><td>5.8</td><td>2800</td><td>3650</td><td rowspan="2">3360</td><td>14</td><td>32.5</td></tr>
<tr><td>ZQD-5</td><td>ZK-20</td><td>5</td><td>550</td><td>600</td><td>13</td><td>8</td><td>2550</td><td>3350(负载)
3600(空载)</td><td>8</td><td>38</td></tr>
</table>

辅助牵引电动机由于其结构及使用特点，在设计时应注意以下几点：

1）由于电动机功率较小，当电压较高时，绕组一般匝数较多而导体截面较细，在设计结构上应采取相应措施，以避免在高速运行时受冲击振动而发生故障。

2）结构上应尽量采用封闭式电机，以免灰尘、油污侵入内部而发生故障。由于电压较高，换向器片数多而薄，云母片应尽量增加厚度，以提高最大片间电压允许值。

3）由于电机体积小，内部结构紧凑，对于漏电间隙及各部位的爬电距离，必须可靠保证，以免电气击穿故障发生。

4）驱动辅助发电机的并（复）励电动机，并励绕组的调节电阻必须具有足够的功率，以免烧断调节电阻造成开路。并励绕组电路的短路或开路，都会引起电动机磁路的严重失磁，使电动机转速剧烈上升而造成故障。

辅助牵引电动机的型号和技术数据见表 2-10。

四、工矿用直流牵引电动机煤安标准（MA）的审查

针对近年来我国煤矿中安全生产事故发生率的上升趋势，特别是一些中小煤矿，无严格的安全生产制度和条例，为此在 2006 年，原煤炭部要求全国为煤炭生产提供技术装备的所有企业，进行煤矿安全标准（MA）审查。工矿用直流牵引电动机装于井下架线式电机车时，作为在主巷道中牵引矿物、器材和人员的运输设备，适用于井下无瓦斯、煤尘爆炸性的危险场所，属于矿用一般性电气设备，需进行以下内容的技术审查。

1）应符合 GB 12173《矿用一般型电气设备》的标准要求，要将现产品的技术条件、使用说明书和产品图样，按规定的程序送交国家指定的检验单位进行重新审查批准后方可继续生产。

2）电动机应具有耐潮性能。应送交两台样机，按 GB 2423.4 的规定进行湿热试验。

3）牵引电动机的外壳须采用非燃性或难燃性的材料制造，如 Q235 钢板外壳等。

4）防护等级：一般不低于 IP54，对矿用牵引电动机可不低于 IP21。

5）表面温度：不应高于 150℃。

6）所有紧固件均应有防松装置，螺栓直径应不小于 M6。

7）电缆引入装置应能防止电缆扭转、拔脱和损伤。电压大于 127V 及以上时，进线需设置电缆引入装置（如采用橡胶密封圈）。

表 2-10 辅助牵引电动机技术数据

型号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	最高转速/(r/min)	励磁方式	定额	电枢 外径/内径/mm	长度/mm	槽数	槽宽	槽深	每线圈元件数	每元件匝数	每槽导体数	并联支路数	绕组型式	节距	线规/mm	导线重/kg	主极 极数	极身宽/mm	极靴宽/mm	极长/mm	气隙/mm	每极匝数
YD-01	1.5	600	3.5	1400		串	h	139/—	75	25			5	13	130	2	单波	1—7	φ0.71	3	4	44	74	75		281
ZQD-1.9	1.9	550	4.45	1250		串	25%	120/32	110	24			4	14	112	2	单叠	1—13	φ0.67	2.9	2	56	113	110	1	410
ZQD-4	4	750	7.6	2800	3360	串	连续	195/55	110	31			5	3	30	2	单波	1—9	φ1.5	6.2	4	58	101	110	1.5	202
ZQD-4A	4	400	14	2800	3360	串	连续	195/55	110	31			4	2	16	2	单波	1—9	2-φ1.45	4.8	4	58	101	110	1.5	100
ZQF-5-1	4.5	48	93	2100	2790	并励	连续	210/80	170	27	8.6	20.8	2	1	4	2	单叠	1—13	6.9×3.05		2				2.5	
ZQF-5-2	4.5	50	90	1290	1850	并励	连续	282/105	80	27	9	31.5	4	1	16	2	单波	1—7	1.25×5.5		4	100	140	80	4	510
ZQD-5	5	550	13	2550	3360	复励	连续	195/55	125	31			5	2	20	2	单波	1—9		6.2	4	58	101	125	1.5	串 59 并 260
ZQD-6	5.7	1500	5.43	2100	2790	复励	连续	210/80	170	27	11.3	21.7	7	5	70	2	单叠	1—13	φ0.9		2			170	2.5	
ZQD-8	7.7	1500	7.3	1420	2130	串励	连续	230/70	239	33	10.5	28.5	5	6	60	2	单叠	1—16	φ1.16		2	64×2	122×2	230	3	270.5
ZQD-11	11.3	1500	9.4	1290	1850	串励	连续	353/115	150	45	11	22.2	5	4	40	2	单波	1—12	φ1.35		4	90	175	154	3.5	335
ZQD-14-2	13.8	1500	12.5	900	1350	串励	50%	354/115	140	45	10.2	24.4	5	5	50	2	单波	1—12	φ1.3		4	90	175	154	3	325
ZQD-15	15	1500	14	1850	2800	串励	50%	230/70	239	33	10	30	5	4	40	2	单叠	1—16	1×2.1		2	64×2	122×2	230	3	193.5
ZQD-15-1	15	750	27.5	1850	2800	串励	50%	230/70	200	33	9.6	22.6	5	2	20	2	单叠	1—16	1×4.4	12.4	2	64×2	122×2	206	2.5	106
ZQD-40	40	1500	30	1500	1800	复励	25%	368/100	190	57	9.4	20.5	5	2	20	2	单波	1—15	0.9×2.83		4	125	192	200	4	串 11 并 4500
KWD-450-1	2.5	550				串励	30 分	228/	76	45	6.4	30	3	11	66	2	单波	1—12	φ0.9	4.3	4	77	115	77	1.5	767

（续）

型号	主极		换向极									换向器					电刷				轴承		总重/kg
	线规/mm	导线重/kg	极数	极身宽/mm	极靴(尖)宽/mm	极长/mm	气隙/mm	第二气隙/mm	每极匝数	线规/mm	导线重/kg	工作面直径/mm	工作面长/mm	换向片全长/mm	片数	节距	电刷杆数	每杆刷盒数	型号	尺寸/mm	换向器侧	非换向器侧	
YD-01	φ1.4	2.8	4	18	18	60			241	φ1.04	1.6	125	22	30	125	1—63	4	1	D308	10×12.5	6205	6306	
ZQD-1.9	φ1.56	2.2	1	25	25	90	1.5		440	φ1.56	1.8	100	42	50	96	1—2	2	1			305	206	190
ZQD-4	1.08×3.28	12.4	4	25	25	90	2.5		70	1.08×3.28	2.5	145	41	50	155	1—78					308	32309	210
ZQD-4A	1.35×4.7		4	25	25	90	2.5		35	1.35×4.7		146	41	50	123	1—62	4	1	D374B	10×12.5	308	32309	
ZQF-5-1	1.35×2.26		2				5			4.1×5.9		180			54	1—2	2	3		16×20			770
ZQF-5-2	φ2.1	38	0									224	48	60	107	1—54	2	1	D252	16×32			248
ZQD-5	串1.35×4.7 并φ1.25	12.8	4	25	25	92	2.5		49	1.35×4.7	3.3	145	41	50	155	1—78					308	32309	
ZQD-6	并φ2.1 串φ0.47		2				5			φ2.1		180			189	1—2	2	2		10×10			770
ZQD-8	1.25×2.83	24	2	34	62	210	6.5		290.5	1.25×2.83	10.6	210	54	66	165	1—2	2	2	D252	10×16	309	32411	575
ZQD-11	φ2.83	51.6	4	20	29	150	3.5		158	φ2.83	16.7	310	39	51.5	225	1—113	2	1	D252	12.5×25	306	32417	750
ZQD-14-2	φ2.44	37.4	4	20	29	150	3		190	φ2.44	14.6	310	39	51.5	225	1—113	2	1	D252	12.5×25			648
ZQD-15	1.81×2.83	26	2	31	62	210	6.5		192.5	1.81×2.83	10	210	54	66	165	1—2	2	2	D252	10×16	309	32411	575
ZQD-15-1	2.1×3.8	18.8	2	35	60	200	6		96	2.1×3.8	6.5	210	65	78	165	1—2	2	2	D374B	12.5×25	309	32411	450
ZQD-40	串2.26×4.1 并φ0.62	43	4	20	28	200	5		85	2.26×4.1	14.8	345	40	55	285	1—143	4	1	D252	16×25	316	32417	810
KWD-450-1	φ1.81		0									151	36	44.5	135	1—68	2	1	D214	9×26			

8）接线端子不小于M6，接线端子的电气间隙和爬电距离应符合GB 3836.3标准的有关规定。

9）应按GB 3836.3的规定进行接地。

10）设备外壳的明显处，须设置清晰的永久性凸纹标志“KY”、“MA”，可采用标志牌铆在或焊在外壳上，也可采用凹纹标志。

11）设备外壳的明显处须设置铭牌，并可靠固定。铭牌应包括的内容有：右上方有明显的“KY”即矿用一般型的标志；外壳防护等级；矿用合格证号；安全标志编号；其他需要标出的参数；产品出厂日期或产品标号。

12）铭牌、警告牌用青铜、黄铜或不锈钢制成，其厚度应不小于1mm。

对于隔爆型工矿直流牵引电动机，除应按原JB 6480—92《旋转牵引电动机基本技术条件》标准要求外，还应对照MT/T 767—1998《矿用隔爆型直流电动机》中规定的一般要求，逐条进行重新整改，特别是涉及防爆性能的必须严格执行，防止安全事故发生。

五、工矿用直流牵引电动机的设计特点

由于直流串励牵引电动机具有符合工矿电机车牵引要求的良好性能，因而它的使用最为普遍，在井下及露天窄轨及宽轨（准轨）的直流架线式电机车及蓄电池式矿用电机车上，使用着大量的直流串励式牵引电动机。

为满足矿用电机车使用环境条件的特殊需要，在总体结构方面，工矿牵引电动机还应体现以下设计特点。

1）须尽量方便矿用电机车的日常检查维护。由于牵引电动机被装置在窄轨的机车车体下面，空间很小，周围的其他部件及管路较多，进行日常检查和维护相当困难，因此电动机的外形及整体结构上应创造一定条件以方便检查和维护。电动机机壳上的盖板及护罩等均应易于打开和关闭，以便检查换向器和刷握的使用情况且方便更换电刷。盖板螺栓等除了有防振措施外，最好采用不可全部松脱取下的结构，以防丢失。

2）牵引电动机的外壳及组成外壳的所有零部件，连接应可靠牢固，防止灰沙、金属粉尘、煤屑及水分潮气的侵入。牵引电动机用于井下的应尽量采用封闭式的结构，以保证使用的可靠性。电动机内绝缘部件内的空隙，因不利于散热及防潮，应尽量用绝缘胶泥等填充涂封。绝缘零部件的漏电表面，应选用抗污、光滑且耐电弧的材质做成，表面应密闭且没有裂缝。

3）零部件应可靠地加以固定。对可能发生松动或位移的零部件要加以可靠的紧固，以减小冲击和振动的影响。磁极线圈之间应尽量减小间隙，用绝缘胶泥、环氧树脂灌注胶或浸渍过的毛毡条可靠填塞，使之成为一体化的结构。电动机引出线及磁极间、刷握间的连接线等应采取各种措施（如扣攀、蚂蝗钉或线夹等）可靠地固定。电枢整体的各部分如槽部、端部、槽楔、绑扎等应牢实无间隙，防止松动、摩擦，甚至松散飞出。

4）牵引电动机的外形及安装应充分利用好在车体下两侧轮轨间有限的位置，在满足安装要求及齿轮传动的条件下，八角形的机壳比圆形机壳的空间利用要好很多。机壳

尽可能直径做大、长度加长以换取牵引电动机较大的归算体积。除电动机内部结构要紧凑外，外形安装要合理，充分利用每一个空间。

5）须适应电机车上的安装条件。工矿电机车的牵引电动机，一般用半弹性的抱轴式（又称轴悬式）悬挂（见图2-4）。在电动机机座的一侧设有上边突出的抱轴半圆孔以便用螺栓与轴承箱盖2紧固，将电动机重量的一半支承于动轮轴4上；在机座的另一侧设有挂鼻8，将电动机重量的另一半通过弹性元件10挂于转向架构架9上。同时，在挂鼻两侧设有备用挂耳7，以防止挂鼻折断时电动机下坠。

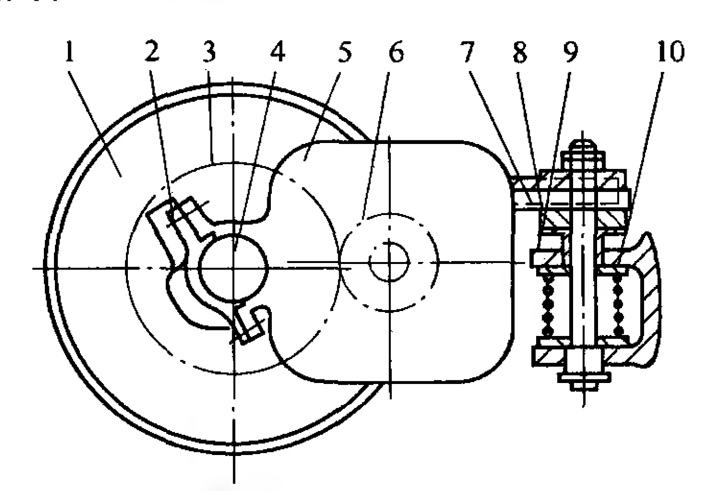


图2-4　抱轴式牵引电动机安装悬挂示意
1—电机车动轮　2—轴承箱盖　3—从动齿轮　4—轮轴　5—电动机　6—主动齿轮　7—备用挂耳　8—挂鼻　9—转向架构架　10—弹性元件

6）能快速装拆。牵引电动机的工作远较一般电动机困难，加上环境条件恶劣，致使电动机的检修、轴承和零部件的清理更换均较频繁，因此要求电动机的零部件配合应能在修理时方便地单独拆开和组装。当取下端盖螺钉和油封环的螺钉后，应即将端盖装配整套地拆下，以进行轴承的清理或更换；当取下后端盖螺钉和换向器端油封环的螺钉后，应即将电枢自定子内抽出进行检修。为适应以上要求，大、中型牵引电动机都用活动内圈式轴承。双边传动电动机的轴承用42000系列；单边传动电动机的轴承，定位端用92000系列或62000系列，非定位端用32000系列。小型牵引电动机最好也用上列轴承，但如在轴承盖和端盖结构上采取一定措施，能满足快速装拆要求时，也可用其他系列的轴承。

六、整机机械故障的分析及修理

1. 检查内容及要求

1）检查所有总装零部件是否齐全、紧固件是否完整无损并处于紧固状态。

2）检查引出电缆有否松动，引线接头有否脱焊，电缆线标号是否齐全。

3）锥度或圆柱形轴件上不应有明显的伤痕和锈蚀，与套在轴伸上的齿轮或联轴器内孔的接触面积不少于65%，无键连接的不低于80%。

4）打开视察窗盖检查刷握固定是否牢固。位置是否正确，电刷在刷盒内是否滑动自如，间隙是否适当，各刷握弹簧压力是否均匀。

5）检查换向器表面应无尖角毛刺，片间沟槽内应无油污和碳粉，同时检查换向器表面是否已生成氧化膜，电刷磨合表面是否良好。

6）施外力矩于轴伸上，观察电枢的转动应平稳灵活，不得有摩擦和过分呆滞，更不应有卡住等情况。

主要装配尺寸的公差与配合见图2-5和表2-11。

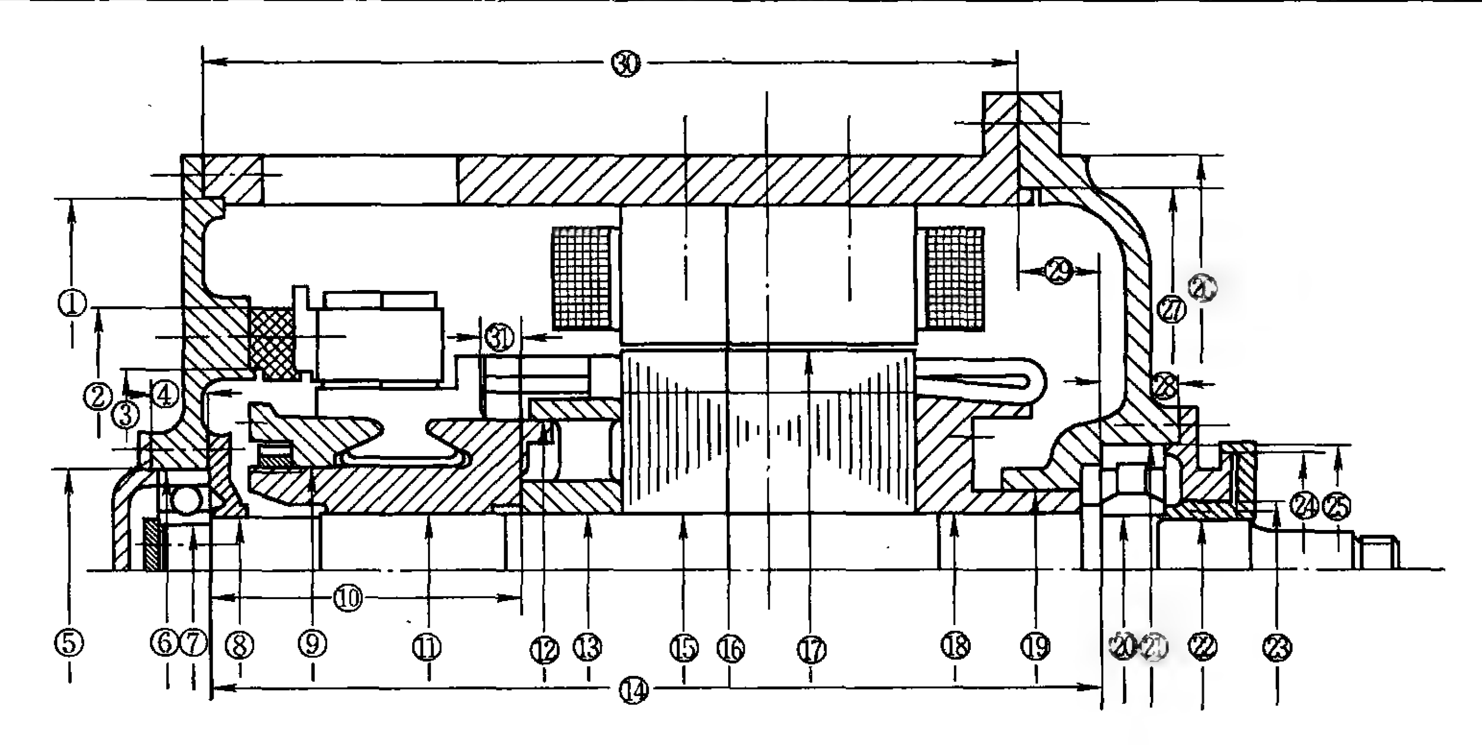


图 2-5 主要尺寸的装配公差

表 2-11 牵引电动机主要尺寸的公差配合

配合部位	公差配合和精度	
	GB159	GB1801
① 前端盖和机座配合止口	D/gc(或 gb)	H7/K6(m6)
② 刷架圈外圆与端盖配合止口	D3/d6	H8/h11
③ 刷架圈内圆与端盖配合止口	D6/d4	H11/h8(或 h9)
④ 前端盖轴承室长度	d5	h10
⑤ 前轴承外盖与端盖轴承孔	D/d3(或 dc4)	H7/h7(或 f9)
⑥ 前轴承外匿与端盖轴承孔	Gd/	J7/
⑦ 端轴承内孔与轴间	/gb	/m6
⑧ 前轴承内盖内孔与轴间	D6/dd6	H11/b11(或 C10、C11)
⑨ 换向器压圈与套筒间	D/gc(或 gd)	H7/k6(或 js6)
⑩ 电枢前压圈外侧平面与轴端或轴承档肩的长度	d6	h11
⑪ 换向器套筒内孔与轴间	由计算决定一般 D/je	一般 H7/r6 或 S6
⑫ 换向器压圈与套筒密封配合处	D4/de4	H9/d9
⑬ 电枢前压圈与轴间	GC/jc 或 jf	K7/r6
⑭ 两端轴承档间距离	d6	h11
⑮ 电枢冲片内孔与轴间	D3/je 或 jf	H8/r6
⑯ 机座磁极内孔处	D4	H9
⑰ 冲片槽形公差	D4 或 D5	H9 或 H10
⑱ 电枢后圈内孔与轴间	D/je 或 D4/ga3	H7/r6 或 H9/n7

（续）

配合部位	公差配合和精度	
	GB159	GB1801
⑲ 端盖内孔与电枢后压圈或轴承外圈	D6/dd6	H11/b11（或 c10、c11）
⑳ 后轴承内孔与轴间	/gb	/m6
㉑ 后轴承外圆与端盖轴孔间	Gd/	J7/
㉒ 外轴套与轴间	D/je	H7/r6（或 s6）
㉓ 后轴承外盖内孔与轴承外圈	Do/dd6 或 de6	H11/b11
㉔ 甩油盘与轴承盖相配合处	D6/dd6（或 de6）	H11/b11
㉕ 后轴承外盖止口与端盖轴承室间	d4	（h8 或 h9）
㉖ 后端盖与齿轮罩相配的凸缘止口	d4（或 dc）	h8、h9（或 f7）
㉗ 后端盖和机座配合止口	D/gc 或 gb	H7/K6 或 m6
㉘ 后端盖轴承室深度	-0.1	-0.1
㉙ 后端盖轴承室底平面到机座端面间长度	±0.1	±0.1
㉚ 机座配合总长	d6	h11
㉛ 电枢前压圈外平面到换向器升高片间距离	±0.5	±0.5

整机机械故障原因、故障现象及处理见表2-12。

表2-12　整机机械故障现象、原因及处理措施

类别	现象及原因	处理措施
轴伸端油封窜油	电机轴头直接入到齿轮箱或齿轮罩壳内时，回转部分和静止部分之间的间隙，便成为齿轮油窜入电机内部之通道，其结果使电机绝缘电阻降低，换向器与电刷的正常接触被破坏，轴承润滑变坏、温度升高。牵引电动机轴伸端油封常见结构如图2-6所示。图2-6d和图2-6b均为迷宫式，图2-6c为曲折式，图2-6a和图2-6e为迷宫和曲折两者结合的型式。为阻止窜油，可加装内隔板，外挡板，外挡油罩和甩油盘，在油封下方设泄油孔或排油槽	1）采用阻力大，防窜油能力强，并具有泄油通道的油封。此法结构复杂，油封占有的轴向及径向尺寸大 2）严格控制齿轮油面的高度，以浸没最下端齿轮的一个齿高为好，也可按油尺标线为准 3）采用粘度高的齿轮油 4）在不影响装拆和运用可靠的前提下，尽量减小轴封的间隙并增加其长度 5）电机内部电枢后鼻端空腔中增加通大气管子，以降低内腔的负压 6）齿轮箱内正压区的上方开排气孔，使起均压的作用 7）轴承外平面和轴承盖外止口端平面间加装隔板，增大窜油阻力（如图2-6a） 8）在窜油通道入口处加装挡油板，以挡住直接飞溅到“入口处”的齿轮油（图2-6b） 9）在机车传动系统位置许可时，尽量采用联轴器式的传动结构（图2-6c）

（续）

类别	现象及原因	处理措施
尼龙轴衬发热磨轴和失油快	在井下 3t、7t、10t 的架线式和 8t 蓄电池式电机车上，主牵引电动机 ZQ-12A、ZQ-21、ZQ-24 和 ZQ-11B 上均采用尼龙抱轴轴衬，其工作条件如下： 单位压力：0.154MPa 最大线速度：0.94m/s 发热因素 *PV*：0.13MPa/s 尼龙具有良好的综合机械性能，并有较好的耐磨、吸震、抗疲劳性能，长期工作温度为 80～85℃，短时 110℃ 完全可以适应上述工作要求，但必须注意尼龙轴衬应具有正确的形状和尺寸，选用合适的材质制成，装配也应合理，否则易产生发热，磨轴和失油快等故障，因此均不可将尺寸超差或变形严重的尼龙轴衬装机使用	1）正确的尺寸：要求内孔尺寸为 $\phi 90^{+0.6}_{+0.5}$ 轮轴轴颈尺寸为 $\phi 90^{-0.05}_{-0.14}$，配合间隙 0.55～0.74mm。由于尼龙轴衬变形，内孔和外径测量不方便，误差大，实际工作中常检查壁厚，最佳范围为 7.2～7.3mm，个别点处 7.1～7.35mm，每半块上均需测 6～9 点 2）合适的材质：尼龙 1010 是最佳的材料，其次是尼龙 6。不应使用硬脆性的材料，轴衬成型后从高处跌落地面或用木锤以常力打击时不应碎裂 3）合理的装配：电动机机座与抱轴盖的结合面处，应按制造厂的规定放置垫片，其厚度及数量切勿随意变动，以保证轴衬内孔的圆度 4）满意的形状：两半轴衬的中分面及外圆面上的注塑口、飞边毛刺、凸台等应清除干净，油槽口不得高出内孔表面。成型的尼龙轴衬，由于热收缩的作用，如注塑工艺、保温、脱模等掌握不当，则成品轴衬的中分面有向内弯曲的趋向，造成曲率缩小，装机后不能全部复圆而造成磨轴，严重时将卡死动轮轴不能旋转
滚动轴承烧损	1）轴承选型不当 2）轴承制造质量差 3）电枢动平衡不良，轴向窜动大，齿轮啮合不好，线路冲击振动大，弯道多，坡度大，曲率半径小 4）径向游隙太小，温度升高时易卡死滚珠或滚柱 5）轴承内圈与轴的配合质量不好，造成内圈松动	1）轴承负荷重，应另选工作能力系数大的轴承。轴承最高极限转速不够，经常超载运行 2）轴承内、外圈加工精度不够，硬度低。保持架强度低，铆钉松动脱落 3）改善运行条件，加强电枢动平衡，检查平衡块是否松动、移位、脱落 4）大、中型牵引电动机轴承应用放大间隙组（C4 组）的轴承 5）用 TZ 型接触电阻测量仪检测内圈滚动上方与轴颈上方，两个测点位置分别距内圈的两个端面 10mm 处，正、负两支测笔应调换，测出两个数据的平均值作为检测值。各种轴承内圈与轴之间接触电阻要经较多次测试，以其平均值作为基准值 ZQDR-410 牵引电动机的 32426 轴承，以小于 25μΩ 为良好，25～50μΩ 为合格，大于 75μΩ 则不准使用。一般认为，小于基准值为良好，1～2 倍基准值为合格，2～3 倍基准值须处理或观察使用，大于 3 倍基准值时不许使用

（续）

类别	现象及原因	处 理 措 施
滚动轴承烧损	6）加强对轴承使用状态的检测与监控 7）圆锥滚子轴承的游隙调整得太小 8）轴承安装和使用不当，轴承发热并降低寿命 9）轴承的维护保养差，也极易引起轴承烧损	6）推广使用 JSC-206 轴承检测仪，对电动机轴承质量进行有力的监控，判别轴承的质量状态，达到减少电动机轴承故障造成的电动机损坏 7）圆锥滚子轴承的装配结构如图 2-7 所示，拧进或旋出调节螺柱，推动顶在轴承外圈上的压板，以调整轴承的游隙。应按制造厂说明书中的规定，调整到合适的游隙，以转动灵活为好 8）轴承安装和使用的要点如下： ①热套轴承内圈时的加热温度不超过 120℃，最好采用恒温控制设备②安装外圈时应在端面上均匀受力压入，切勿使用铁锤单边击入③润滑脂要加得适当，过多或过少都会使轴承发热，加快轴承磨损。合理的加脂法是先将滚道间隙填满，再在轴承室内加容积占 1/3 左右的油脂。不同牌号润滑脂不得混用，应按规定的牌号添加新脂 9）建立定时定量的加脂和保养工作，油脂必须洁净，油堵不得丢失，统一油脂牌号。经常测试轴承温度，如有异音或不正常振动，应及时查找原因。更换和重装轴承时必须严格检查，合理控制轴承使用的期限
通风口进油和水	牵引电动机内部进油和水，降低电动机绝缘强度，极易造成接地或短路故障而烧损电动机	1）控制住油水的漏泄和流失，消灭油、水污的源头，如存放于冷却室的备用油壶电油的飞溅，静液压管系的漏泄 2）控制泄漏的油、水进入通风道的措施。横梁中腔另设排油管，防止沿横梁泄漏到通风管道。把后通风机的进风处所移到管系泄漏少的地方，以减少进入通风管道的油水
铜抱轴瓦损伤	由于机车功率的增加及速度的提高，抱轴瓦的负荷相应增大，抱轴瓦过热、合金层碾片等早期性故障时有发生	1）铜质的瓦背与薄层的合金之间结合性差而发生烧损，刮瓦需均匀、麻点等要消除干净 2）抱轴油必须具有优良的抗氧化及抗腐蚀性，并具有合适的粘度

（续）

类别	现象及原因	处理措施
制抱轴瓦损伤	由于机车功率的增加及速度的提高，抱轴瓦的负荷相应增大，抱轴瓦过热、合金层碾片等早期性故障时有发生	3）给油器毛毡片必须保持清洁，其上的污物及杂质须定期清除。毛毡片伸入量必须符合规定要求，弹簧压力应符合工艺要求 4）抱轴油箱的油面必须符合要求，经常按检查油层上标定的最高、最低油位，进行检查和控制 5）抱轴瓦大端面端部的橡胶防尘密封垫，可有效防止灰尘等污物进入油箱，防护罩及 RTV 硅橡胶密封剂应正常发挥作用，一旦脱落必须及时修复 6）抱轴油箱内必须清洗干净，上、下抱轴瓦半片必须是同一号码，新装或更换检修过的抱轴瓦的质量必须得到保证 7）抱轴瓦与动轮轴抱轴颈处的配合间隙会直接影响抱轴承的润滑，过大或过小都会引起抱轴瓦过热和烧损，因此必须定期检查其径向及轴向间隙
其他机械故障		1）牵引电动机的轴向窜动量超过规定值，换向器表面中间磨出一条沿径向分布的凸台，易撞击电刷使产生崩角，产生机械火花 2）大齿轮与小齿轮间磨损严重，产生剥离、凹坑、偏磨。大、小齿轮未成对更换，加剧了产生的冲击振动源，过大的机械冲击，使牵引电动机产生换向器环火，绝缘磨破产生电气击穿、紧固件松动及造成刷握故障等

七、整机电气故障的分析及修理

1. 电气检查内容及要求

1）用相应规格的绝缘电阻表检查电机定子、电枢和刷架的绝缘状态，在常温下，整机应不小于 3MΩ。过低时，应找出原因，如果受潮引起，应先烘干；如果绝缘表面有油污及灰尘，应进行彻底清洗；如果绝缘老化破损，则应重新修补或更换绝缘。

2）绝缘介电强度试验　对新制电动机各工序及整机的介电强度试验值见规定，对修复的旧绕组或重复进行耐压试验时，应降低至附录表规定值的 75% ~80% 。

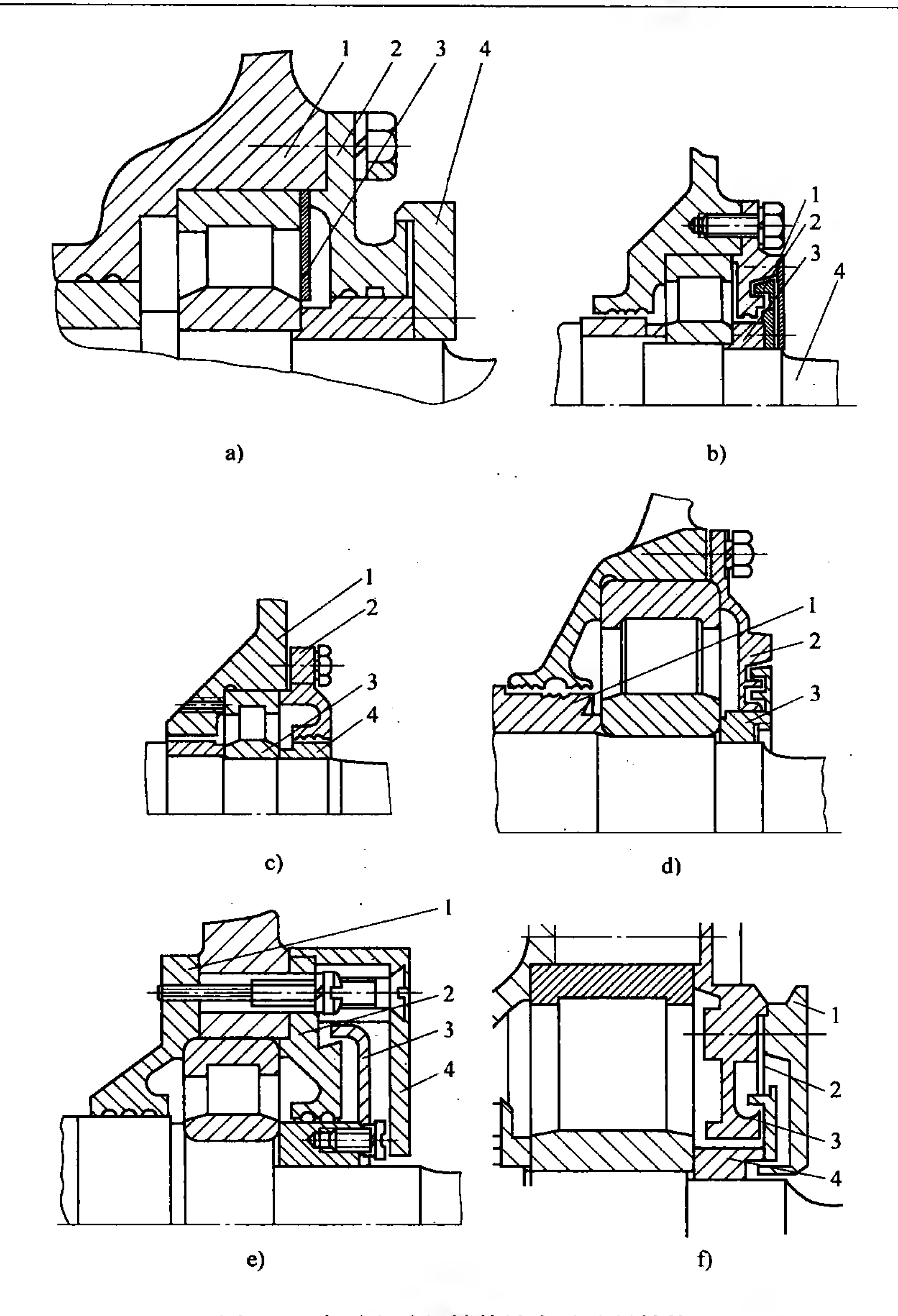


图 2-6　牵引电动机轴伸端常见油封结构

a）迷宫和曲折式组合结构　1—端盖　2—轴承盖　3—内隔板　4—甩油盘

b）迷宫和曲折式组合结构　1—外挡板　2—封环　3—轴套　4—轴

c）曲折式油封结构　1—端盖　2—轴承盖　3—轴承　4—轴套

d）迷宫式油封结构　1—内轴套　2—轴承外盖　3—外轴套

e）迷宫和曲折式组合结构　1—轴承内盖　2—轴承外盖　3—甩油环　4—外挡油罩

f）迷宫和曲折式组合结构　1—外挡板　2—内隔板　3—轴承盖　4—甩油圈

3）拆开电动机分别对定子、电枢、刷架等进行有关项目的检查，除绝缘电阻及耐

压两项外，还应检查内部各联线是否规则及牢固，绑扎及固定是否可靠，不应有碰擦、裂纹、脱焊松动甚至断裂等现象，磁极紧固螺栓有否松动，用压降法或电桥测定各绕组的冷态直流电阻（与设计值或电机出厂技术文件的测量值进行比较，以确定有否断路和短路）。电枢部分则应检查是否有匝间短路、断路、接地等故障，检查电枢绕组节距是否正确，电枢导体与换向器之间有否虚焊、脱焊和甩锡，除用目测进行检查外，大多需用仪器进行测定。

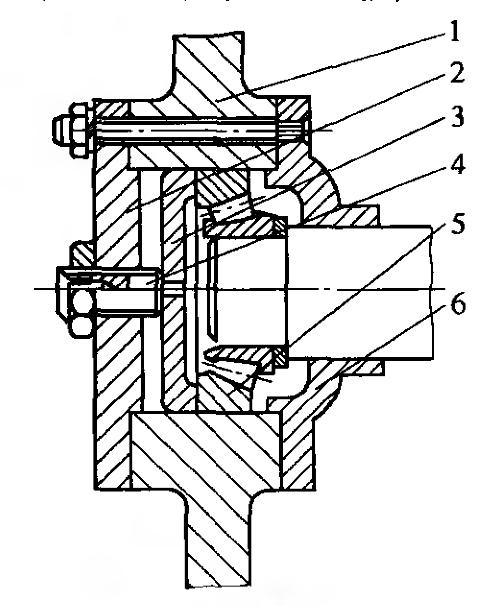


图 2-7 圆锥滚子轴承装配结构图
1—端盖 2—轴承外盖 3—压板 4—调节螺柱 5—圆锥滚子轴承 6—轴承内盖

4）空载运转试验 单台电动机在他励方式下空载运行，电压一般加到 20% 额定值，以接近最大转速为限，测量轴承温度以不超过 80℃ 为限，试验中应检查轴承有无异音，特别是内、外油封、迷宫、轴套挡圈等不应有擦音，停机后应检查电刷的接触面积。

电气故障原因及处理方法见表 2-13。

表 2-13 牵引电动机电气故障原因及处理方法

类别	现象及原因	处 理 方 法
电机不转	1）电源不通	1）检查线路中各开关、触头和电缆接头是否有未合上和接触不好
	2）出线电缆标号错	2）查清绕组类型及端头后，改接正确
	3）电刷与换向器未接触	3）检查刷握弹簧是否压上，电刷是否卡住在刷盒上
	4）刷辫线断裂或松脱	4）更换电刷
	5）电机内部连接有故障	5）找到连接错误或接头松脱处，重新接好
	6）串励绕组断路	6）找出断路处并修复好或更换新线圈
	7）过载严重	7）减载后重新起动
转速偏高	1）电网电压太高	1）调低电压
	2）串励绕组局部短路	2）找到短路线圈及处所后进行局部绝缘修补，方法见定子及电枢修理部分
	3）复励电机中有一组绕组未励磁或磁场方向反向	3）查清励磁线圈接点是否接触不良或接反后，改正接线或修复到接触良好
	4）主极气隙偏大	4）按拆修前原样垫好主极垫片
	5）负载电流低	5）如仪表与读数无误，则应增加负载
	6）电刷未处于中性位置	6）电刷顺旋转方向适当移动
	7）电枢由钢丝改用无纬带绑扎	7）适当调小主极气隙或增加主极匝数

（续）

类别	现象及原因	处 理 方 法
转速偏低	1）电网电压太低 2）电刷未处于中性位置 3）主极气隙偏小 4）重绕的串励绕组匝数偏多 5）负载电流偏大	1）调高电压 2）电刷逆旋转方向适当移动 3）适当抽除垫放在主极铁心背面的钢垫片，也可改为黄铜垫片，形成主极第二气隙 4）减少匝数 5）如仪表与读数无误，则应减小负载
火花大	1）电机换向参数不合适 2）换向极极性错 3）换向极补偿过强或过弱 4）换向极气隙不合适 5）换向极绕组短路 6）电枢有接地故障 7）电枢与换向片间焊接不良 8）电枢绕组断路 9）电刷偏离中心线过多 10）电机过载 11）换向极极靴形状不合适 12）机械火花	1）修改设计 2）按本节定子部分要求检查并改正极性 3）做无火花区域试验后改变匝数或气隙大小 4）按拆修记录恢复原气隙值或通过试验确定最佳气隙值 5）消除短路或更换新线圈 6）排除接地故障 7）用毫伏表检查出焊接不良的处所后重焊，见本节的电枢部分 8）更换断路的线圈或者局部修焊之 9）进行中性区试验后调整电刷位置 10）减小负载 11）改变极靴形状进行试验，以正确补偿电抗电势为好 12）消除机械火花见本节换向器部分
绕组过热	1）冷却条件差 2）负载过大 3）绕组有短路和接地 4）设计时或修理中重绕时线规偏小 5）线圈绝缘材料的结构和品种变化，厚度增大 6）线圈绕制松散 7）浸漆不透 8）发热参数选择不合适 9）并励或他励绕组的电压太高 10）电刷压力太大，换向器表面过热	1）消除风道堵塞，风扇损坏等故障 2）降低负载 3）消除短路和接地 4）放大线规截面 5）恢复原结构，原用材料及层数，增加浸漆次数 6）改进绕线操作和工艺，采用胶化和热压工艺 7）改变浸漆工艺和漆的牌号及粘度 8）改变线规 9）恢复到规定的电压值 10）调整电刷压力，更换弹簧

（续）

类别	现象及原因	处理方法
绝缘电阻低	1）绝缘老化 2）绝缘破损 3）绝缘受潮 4）电刷炭粉，油污粘附于绕组表面	1）重包绝缘 2）减小绕组和铁心间的摩擦和相对位移，增加弹性支撑 3）降低环境湿度，提高电机的密封性，防止环境冷热突变而产生凝露，处理方法见本章下文 4）提高换向器表面光洁度及倒角质量；在保证换向可靠前提下减低电刷压力或更换电刷牌号；采取措施防止齿轮油窜入电机内部；控制润滑脂添加量；电枢端部用无纬带遮住，防止炭粉渗入
电机受潮	由于运输保管的不当和使用环境的突变，牵引电动机易受到淋水和凝露，特别是矿井下使用的中、小型牵引电机，由于湿度很大，滴水严重，有时甚至突然涨水，均使电机有不同程度的受潮，造成绝缘电阻下降，换向器和电刷磨耗加快，锈蚀金属件，严重时将烧损电机	受潮定子修复的步骤如下： 1）用水冲洗定子，油污多时可用洗涤剂清洗 2）烘干：对 B 级绝缘，烘干温度取 130～135℃热态绝缘电阻应达$\frac{U_N}{1000}$MΩ 以上 3）更换定子上已损坏的零部件，如电缆、磁极绕组、刷架及其支持部件等 4）在定子绕组的表面及机座内壁喷 EM8363 或 1321 灰耐弧瓷漆 5）极性及耐压检查 注：必要时可拆下定子线圈，经清洗烘干后再浸漆，最后再重新装配受潮电枢的修理见本节电枢部分

八、定子故障及修理

待修复的直流串励牵引电动机在进行了整机的机械故障和电气故障检查测量后，就可以把电动机拆开，零部件必须做好标记，以便在修复后重装时，定子、电枢、抱轴外壳、端盖、轴承等仍保持原配组装，不要搞混，可按表 2-14 做好检修记录。

1. 定子磁极拆装工艺

1）用内径千分尺测量磁极中心处的径向距离（见图 2-8），主极为 a，换向极为 b。为改善换向和减小磁场的畸变，牵引电动机大多采用偏心气隙，因此 a 值必须在极身中心处测量。

2）记下各电缆线的连接关系及各引出电缆的标号及位置。

表 2-14　牵引电动机检修记录

<table>
<tr><td colspan="2">电机编号</td><td></td><td>制造厂</td><td></td><td>原装机车</td><td></td><td>修程</td><td></td><td></td><td>现装机车</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">修前状态</td><td>绕组名称</td><td colspan="2">主极绕组</td><td>附加极绕组</td><td colspan="4">电枢绕组</td><td colspan="2" rowspan="3">其他状态</td></tr>
<tr><td>冷态绝缘</td><td colspan="2">MΩ</td><td>MΩ</td><td colspan="4">MΩ</td></tr>
<tr><td>换向器状态</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td rowspan="22">检修测量记录</td><td rowspan="3">定子</td><td>极称</td><td>绝缘</td><td>耐压试验</td><td>内阻</td><td colspan="4">极距</td><td rowspan="3">不良处所</td><td rowspan="3">记名</td></tr>
<tr><td>主极</td><td>MΩ</td><td></td><td>Ω</td><td colspan="4">mm</td></tr>
<tr><td>附加极</td><td>MΩ</td><td></td><td>Ω</td><td colspan="4">mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">电枢</td><td>绝缘</td><td>耐压试验</td><td>片间电压</td><td>换向器直径</td><td>大轴承</td><td>小轴承</td><td colspan="2">平衡块</td><td rowspan="19"></td><td rowspan="19"></td></tr>
<tr><td>MΩ</td><td></td><td>mV</td><td>φmm</td><td>φm</td><td>φmm</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">轴承</td><td colspan="4">大轴承</td><td colspan="4">小轴承</td></tr>
<tr><td>外径</td><td>轴承室径</td><td>内套直径</td><td>自由间隙</td><td>外径</td><td>轴承室径</td><td>内套直径</td><td>自由间隙</td></tr>
<tr><td>φmm</td><td>φmm</td><td>φmm</td><td>mm</td><td>φmm</td><td>φmm</td><td>φmm</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>油封</td><td>安装轴径</td><td colspan="2">mm</td><td>油封孔径</td><td colspan="2">φmm</td><td>过盈量</td><td>mm</td></tr>
<tr><td rowspan="9">刷架</td><td>绝缘</td><td>耐压试验</td><td>电刷牌号</td><td>刷握刷杆</td><td colspan="2">汇流线</td><td colspan="2">各部螺丝</td></tr>
<tr><td>MΩ</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>碳刷接触面</td><td>刷盒中性位</td><td>齿轮接触面</td><td>齿轮紧余量</td><td colspan="4">轴承组装间隙</td></tr>
<tr><td></td><td>mV</td><td>%</td><td>mm</td><td>大</td><td>mm</td><td>小</td><td>mm</td></tr>
<tr><td>刷盒与换向器面距离</td><td>mm</td><td>mm</td><td>mm</td><td>mm</td><td colspan="4">碳刷弹簧压力</td></tr>
<tr><td>刷盒与升高片面距离</td><td>mm</td><td>mm</td><td>mm</td><td>mm</td><td>最大</td><td>N</td><td>最小</td><td>N</td></tr>
<tr><td colspan="7">换向器跳动量</td><td>mm</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">空转试验</td><td>转向</td><td>时间</td><td>电压</td><td>电流</td><td>转速</td><td colspan="3">轴承温升</td></tr>
<tr><td>正向</td><td>min</td><td>V</td><td>A</td><td>r/min</td><td>室温</td><td>大</td><td>小</td></tr>
<tr><td>反向</td><td>min</td><td>V</td><td>A</td><td>r/min</td><td>℃</td><td>K</td><td>K</td></tr>
<tr><td colspan="2">换向器表面温度</td><td colspan="2">℃</td><td colspan="2">电枢轴向窜动量</td><td colspan="2">mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">检修日期</td><td>试验日</td><td colspan="5">热态绝缘</td><td colspan="2">装车日期</td><td colspan="2">验收员</td></tr>
<tr><td colspan="2">年　月　日</td><td>年　　月</td><td>主极</td><td>MΩ</td><td>附加极</td><td colspan="2">MΩ</td><td colspan="2">年　　月</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

3）用相应电压级的绝缘电阻表检查定子线圈的绝缘状况，如发现有损坏了的线圈，须做好记号以便更换。

4）测定各磁极绕组的极性并做好记录。

5）拆下连接电缆，松开磁极紧固螺栓，逐个取出线圈。

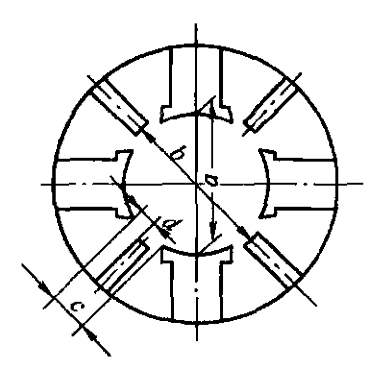


图 2-8　定子磁极装配尺寸示意图

6）记下各磁极和机座间垫片的种类、厚度和数

量，主极垫片用以调节转速。换向极垫片分磁性（钢片）和非磁性（黄铜或塑料）垫片二种，分别用以调整换向极的第一和第二气隙。这些垫片，制造厂都已经调整好，在重装时务必保持原样，以免定子重装后转速偏差增大和换向火花变坏。

7）定子重装时应进行磁极找正，用内卡或短柄游标卡测量相邻主极尖间的距离 c，同时测量主极极尖与换向极极尖间的距离 d（见图2-8）。对大型牵引电动机，同一台上各个 c 的最大和最小值之差应小于2～3mm；中小型牵引电机为1.2～1.6mm。同一台电机中 d 的最大和最小值之差应小于1.2～1.5mm，如超过上述数值，则应松开磁极螺栓进行调整。

8）定子重新装配后要复检极性是否正确，测定各磁极绕组的绝缘电阻是否符合要求，并以规定耐压值的75%进行试验。

9）各电缆线应可靠地绑扎，接头螺栓必须拧紧，最好采用弹簧垫圈防松，它比一般止退垫圈可靠，接头上须用云母带及玻璃丝带紧密包扎，并刷绝缘漆防止松散。实践证明，不加填充泥包封，能便于下次拆开接头螺栓，并不影响连接可靠性。

10）机座内壁及线圈表面要擦拭干净，分别喷耐弧磁漆和表面覆盖磁漆。磁极铁心内圆表面刷防锈油，磁极螺栓的沉孔内要灌注沥青，以防止水分和潮气侵入。

11）定子重装或互换电枢后，应重新调整刷握，使电刷处于中性位置上。

2. 定子绕组的连接和极性

（1）定子绕组的正确连接　牵引电动机的四根引出线都连接到机车的主电路内，改变磁极绕组或电枢绕组中的电流方向，即可改变电机的转向，从而实现机车的前进和后退。

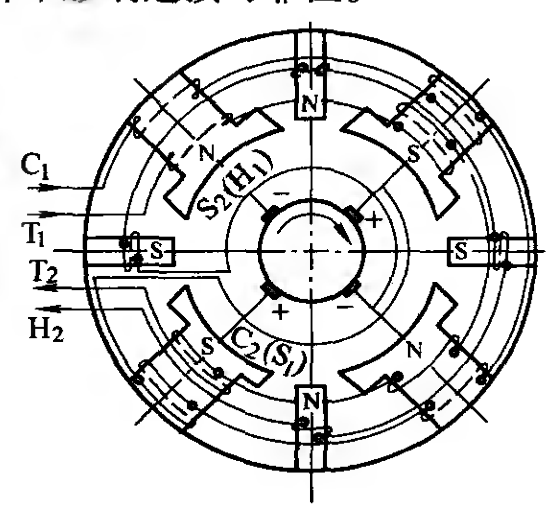


图2-9　ZQD-5定子接线图

图2-9、图2-10和图2-11分别绘出几种牵引电动机的定子接线图。

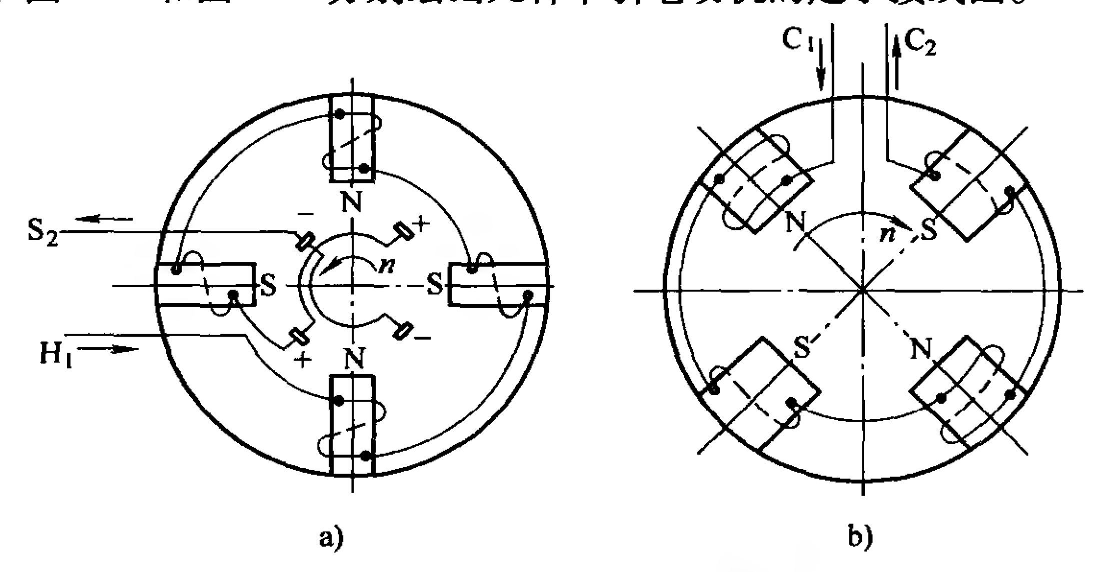


图2-10　ZQ-110定子接线图

a）换向器端视附加极连接图　b）轴伸端视主极连接图

出线标志应刻在金属标片上，然后扣牢于电缆上，以资识别，如已丢失或模糊不清，应认真判别正确并重新标记，因为万一接错，电动机将不能旋转甚至烧毁绕组。

定子修理后应按原始记录或根据制造厂提供的资料进行连接，电缆扎牢后再进行有关项目的检查。

牵引电机绕组出线端的标志规定见表 2-15。

（2）定子极性的规定和检查　判别电动机极性的正确性原则：

1）当顺着电枢的旋转方向，相邻同极性的主极和换向极，应是换向极在前，主极在后。

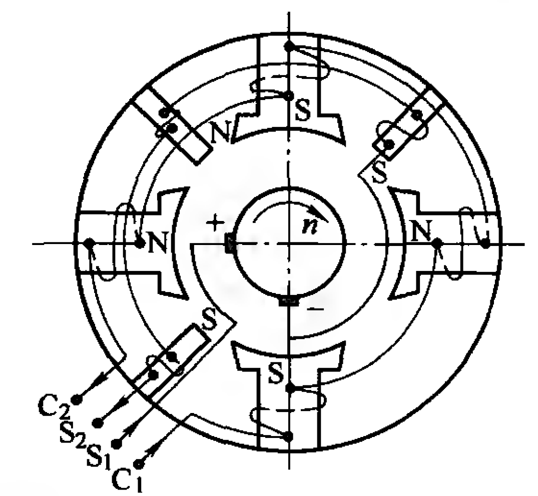


图 2-11　ZQ-21，ZQ-24 定子接线图

2）对常用的后退式（即左进式）单波型电枢绕组，从换向器端视，当电枢逆时针旋转时，主磁极 N 下的电刷为“正”，S 极下为“负”。

表 2-15　出线端标志规定

绕组名称	出线端标志		绕组名称	出线端标志	
	始　端	末　端		始　端	末　端
电枢绕组	S_1	S_2	换向极绕组	H_1	H_2
串励绕组	C_1	C_2	补偿绕组	BC_1	BC_2
并励绕组	B_1（或 F_1）	B_2（或 F_2）	起动绕组	Q_1（或 K_1）	Q_2（或 K_2）
他励绕组	T_1（或 W_1）	T_2（或 W_2）			

图 2-9、图 2-10、图 2-11 中各电机的连接，都符合上述二条原则，因此极性都正确。

定子修理时，应注意线圈的极性不可搞错，套装磁极线圈和装配定子时，极性搞反的常见原因是：

1）线圈二面（指机座面和电枢面）装反（见图 2-12b）。

2）二端（通常把换向器端为前端，轴伸端为后端）装反（见图 2-12c）。正确的极性如图 2-12a 所示。

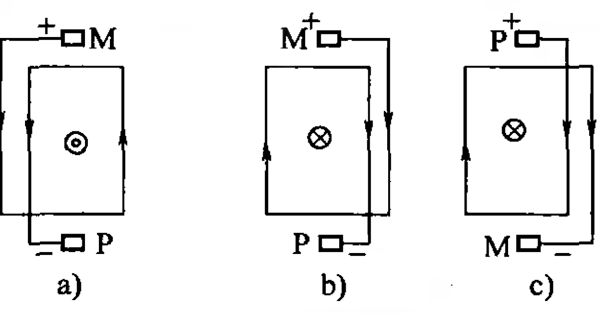


图 2-12　磁极线圈的极性

3. 磁极绕组接地故障原因及改进措施（见表 2-16）

表 2-16 磁极绕组接地的原因及改进措施

接地原因	改进措施
传动齿轮啮合不好，电机产生高频冲击振动，磁极绕组承受很大的动力作用	电机维修时，应保证原配大小齿轮啮合，更换时，必须成组一起换
水分、油污、炭粉等侵入，使绝缘性能降低	1）从电机本身及外界结构进行改进，减少水、油、炭粉的侵入 2）提高浸渍漆及复盖漆的质量，增加挂漆量及厚度 3）提高对地绝缘的耐潮、抗污性能 4）提高对地绝缘及外包绝缘的电气强度 5）经常维护清扫，去除污物
磁极绕组的结构不合理，制作工艺有缺陷	1）加装弹簧托板或增加其弹力，消除线圈与铁心和机座之间的相对振动 2）采用一体化结构，加强线圈整体性。取消钢板护壳，磁极线圈内孔与铁心之间的间隙用芳纶耐热绝缘针刺毡 J2941 填塞（俗称适形材料，经浸漆固化后能有效填满不同形状的间隙和缝隙）。用 J1840 等灌注胶浇注来填塞磁极绕组内孔与铁心之间间隙的方法，能更有效地增加线圈的散热，降低绕组的温升，并更有效地增加线圈的一体性并防止线圈与铁心之间的摩擦，其缺点是制造麻烦、成本增加
磁极绕组的结构不合理，制作工艺有缺陷	3）进一步合理制造线圈及定子装配工艺 ①认真清除护壳，垫板等钢板件的尖棱、毛刺 ②机座与磁极的配合面清理干净、平整 ③引出线头处绝缘包扎要紧密，层数要足够，并无损伤 ④接线头与机座、端盖间的电气间隙要足够 ⑤磁极线圈内弯曲圆角处或内侧引线接头片高出磁极线圈平面，定子装配时，凸出处局部受力常压伤线圈绝缘，为此可用开口绝缘垫板填平。对较小截面绕制的线圈，可采用正、反绕法，使二个引出线头均从外侧引出，如图 2-13 所示，如图正绕部分从第 1 匝处开始，到第 98 匝为末端。预留一定长度的反绕部分从第 99 匝处开始，直到第 104 匝为末端 ⑥包扎线圈转角处的绝缘带可适当剪狭，防止因层数重叠过多而线圈套装困难 ⑦控制铁心的长度，套装间隙要适当 ⑧磁极铁心上先卷包 1 ~2 层相应绝缘等级的薄膜，以使线圈方便地套入铁心，不致刮伤线圈绝缘，提高电气可靠性 ⑨套装线圈应采用加热后压入的方法，严禁甩摔，单端倾斜进入
绝缘过热老化	使用于潮湿高温，牵引负荷大的区域，负荷变化大，绝缘材料易龟裂收缩甚至粉化、发脆脱落，如这样应更换绝缘

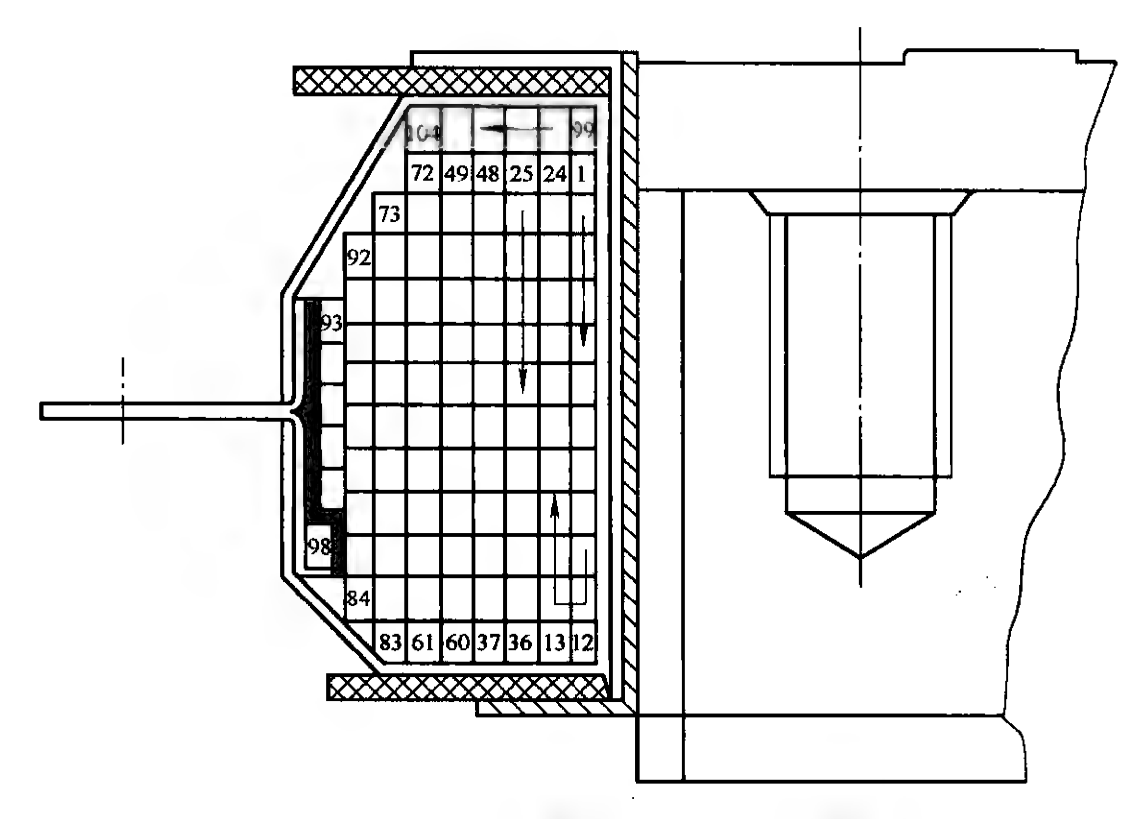


图 2-13　磁极线圈正、反绕法结构图

4. 定子连线烧损原因及改进措施

1）主极连线烧损造成机车牵引电动机拆下修理，已成为牵引电动机损坏的主要原因，特别是引出电缆大线及位于上方和抱轴侧方位的主极连线接点，因冲击振动大而烧损率更高。

2）主、附极连线烧损原因及改进措施（见表 2-17）

表 2-17　定子连线烧损原因及改进措施

烧损原因	改进措施
1）磁极连线定位间距离太大，悬空部分太长，较强的振动造成连线端部疲劳断裂	1）增加连线固定点，减少悬空部分距离，从而降低作用于连线端部的冲击力
2）蚂蝗钉加线绑式固定卡易松动，绑扎线老化断裂，连线因振动加剧直至折断	2）绑扎线不用棉蜡线，改用较粗的涤纶绳并刷漆，匝间要拉紧，且末端不得有松脱，垫放的绝缘要可靠固定，不可滑动脱落
3）连线的形状和制作工艺要规范，线圈引出线与磁极连线连接处形状尺寸不吻合，易产生连接应力，形状尺寸不吻合时不可强行撬动	3）制作的连线尺寸必须符合设计要求，特别是线圈端部引出部分一定要用样板检查，不可在定子装配时发现形状不对，便用撬棒强行弯扭，造成根部绝缘破损并产生连接应力 用软铜编织线与裸铜线焊接而成的软连线，往往起不到理想的效果，原因是二端的焊锡渗入铜编织线内，软连线实际上仍较硬，不能起到易弯折，易变形的效果

（续）

烧损原因	改 进 措 施
4）磁极连线用裸铜带制作，弯曲圆角处的尺寸误差在强行定位后的附加应力很大，易疲劳断裂	4）改用0.5mm左右厚的薄铜皮多层铆接而成，替代两端用冷压或焊接式的接头。由于紫铜片柔性好，易弯曲成型，弯曲应力很小，有效地降低了连线中附加应力的产生
5）电机的异常振动使磁极连线折断为齿轮严重磨损，主极紧固螺钉松动，牵引电动机发生空转等	5）电机中修及日常检查时，应注意齿轮齿面的磨耗情况及定子螺栓紧固情况，机车操纵中应避免电机空转，磁极连线应尽量采用软连接

5. 磁极绕组匝间短路原因及改进措施（见表2-18）

表2-18 磁极绕组匝间短路原因及防止措施

原 因	防 止 措 施
线圈绕制和成型时的工艺不当	1）由于导线本身的匝间绝缘（如聚酯漆，玻璃丝等）脱落破损，特别是内侧几层转角处，弯曲半径小，应放置转角补强绝缘。层间跨线处应垫放抗撕裂性能好的薄膜漆布作跨线绝缘 2）内侧向外引的引线接头的铜带绝缘要包扎好，使与相接触一层的多匝导体间可靠绝缘 3）裸铜带平绕或扁绕的磁极绕组垫放的匝间绝缘不应少于2层，要压弧形的线圈最好3层，位置要垫准，匝间绝缘应比铜带宽2mm，常用的匝间绝缘材料及胶化工艺见表2-19 4）线圈在压弧，搬运、堆放过程中，要防止匝间绝缘走动移位或压伤 5）线圈在绕制成型时勿敲打过甚而损伤匝间绝缘
匝间绝缘损坏	1）绝缘老化，应及时更换 2）防止线圈过热 3）防止烘压胶化时温度太高 4）预防有铜刺或其他异物压伤绝缘
其他原因	1）电动机端电压太高，机车操纵不当时，瞬时电压突变时的首匝线圈更易损坏 2）线圈表面的油污及灰尘应及时清理

表2-19 磁极绕组匝间绝缘材料及胶化工艺

绝缘等级	匝间绝缘材料	加压下匝间胶化工艺
B级	B级环氧上胶坯布	100～120℃，10～15min；再150～160℃ 20～30min
H级	H级上胶坯布，NHN	120～140℃，10～15min；再160～180℃ 10～20min

主磁极绕组匝间短路，使有效励磁匝数减少，导致电动机转速升高。换向极绕线匝间短路，使电枢反应补偿不足，导致换向火花增大。

B 级匝间胶化漆可用环氧酚醛树脂（固体含量的重量比为 7:3，用甲苯或酒精稀释），也可用 B 级浸渍漆，如 1032 号三聚氰胺醇酸树脂漆和 5152 号无溶剂漆。F 级可用 EIU 无溶剂漆。H 级可用硅有机或二苯醚浸渍漆等。

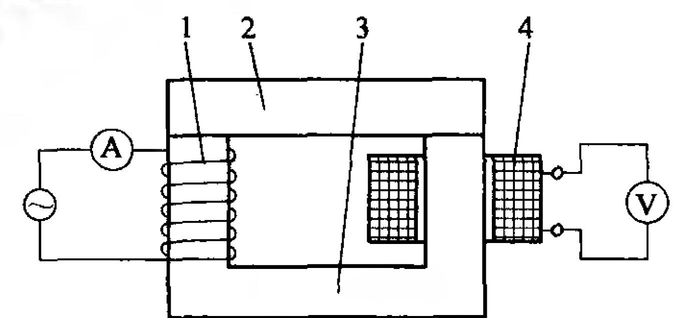


图 2-14　用感应法检查磁极绕组匝间短路
1—原线圈　2—上铁心条
3—开口铁心　4—被测线圈

磁极绕组匝间短路的查找法：

1）在空载或额定工况下运行，当施以相同电压时，类比各电机的转速，偏高较多者，则可能是主磁极匝间短路引起。

2）用感应法测定，图 2-14 为工厂实用测试装置。开口铁心宽 80mm，叠厚 120mm，高 190mm。为取放线圈，上铁心条可移开，原线圈套在一个心柱上，也可分成二部分而套在两个心柱上（但此时应注意产生的磁通必须同向）。采用上述铁心尺寸时，可用 3.05mm × 5.1mm 的双玻璃丝包扁铜线绕 104.5 匝，二只线圈串联后接 220V 交流电源。

测试要点及注意事项：

1）要求被测线圈的感应电压为 20 ~ 25 倍线圈的额定电压降，所以原边交流电源最好可调。

2）铁心的磁通密度应选用低值，一般可取 1 ~ 1.2T 左右，以适应多种线圈测试，同时保证有较高的精度。

3）被测线圈如有匝间短路，则短路匝处很快发热，铁片贴近时有吸力，原边的电流读数将增大。

4）当线圈内孔小于心柱截面时（如测试换向极线圈），可在心柱与上铁心条之间放小铁心，但通电时间不可长，否则发热严重。

6. 磁极绕组断线原因及改进措施

磁极绕组断线原因及改进措施见表 2-20。

表 2-20　磁极绕组断线原因及改进措施

断线原因	改进措施
电动机冲击振动大	加强电动机支承的弹性、减小线路动力冲击的影响
硬连接的极间连线折断	改用编织软连线或电缆连接，用蚂蝗钉扣牢连线，以减小运行时连线上的动力作用
螺栓联接孔处铜带折断	线圈引出端头与末匝固定处一段铜带用双层，加强该处机械稳定性（见图 2-15）
联接螺栓松动	加弹簧垫或其他制动垫圈，螺栓不宜小于 M8，中、大型牵引电机可用二只螺栓紧固
螺栓联接处漆膜未刮净或表面氧化	砂光导电接触表面后重新拧紧螺栓并包绝缘
铜带接长处焊接不良引起断裂	重焊或更换线圈

7. 磁极绕组的修复

根据具体损坏的部位及程度，确定修复方法和工艺。

1）找到损坏处所后，应先区分是匝间还是对地损坏，如有二根或多根导体被烧损并熔合一起，则大多是匝间损坏引起，只有一根导体与绝缘烧穿，通常是对地击穿，但经常是先匝间损坏，后再引起对地烧损。

在拆检时，需将线圈导体及所用各种绝缘材料（如对地、匝间、外包、辅助衬垫等）的型号、规格、包扎方式及层数搞清并详细记录，以使修复的电机保持原有性能。

2）在导体表面或定子连接线部位有小的烧伤，可用工具将烧伤处之炭化物清除干净，然后用环氧涂封（环氧树脂加8%的乙二胺和少量二丁脂），也可用粘带包扎或绝缘漆刷封。

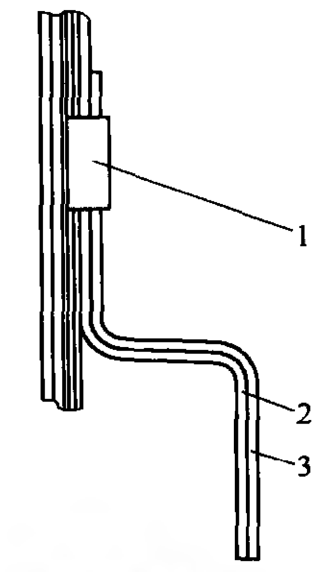


图2-15 磁极线圈末匝双层加强
1—扣片 2—末匝铜带 3—加强铜带

3）用铜带绕制的线圈烧损断面在1/3以下时，可用银焊焊补再锉修平整。损坏严重时可先剪断或锯下已烧成铜瘤的部分，再将预制好同规格同形状的铜带焊上，焊接处应放银合金银片，撒上硼砂粉，用氧气吹热到焊片及铜导体熔化为止。焊时要注意保护其它部位的绝缘，用石棉板挡住火焰。

4）修复后的线圈应再检查匝间短路，可用玻璃坯布垫入，也可用带状绝缘包扎，经检查无匝间短路后，再刷或浸一次绝缘漆，使整体性得以如强。

5）包对地绝缘前，应将导线与对地绝缘带之间的空隙用填充泥填满，以加强散热并提高机械和电气性能。填充泥的配方为石英粉65%，石棉粉10%，相应绝缘等级的浸渍漆25%，搅拌均匀后成干糊状即可。

我国很多机务段及修理工厂对国内、外牵引电动机磁极线圈修理中积累了很多实践经验，如磁极线圈端头引接部分刮伤严重的，通过拼接、堆焊并回火，仍能修整回用。匝间绝缘已老化损坏的，必须更换，重新垫入新绝缘，并匝间热压胶化，检查确认匝间完好后再包扎对地及外包绝缘。

牵引电动机的磁极绕组对地绝缘大多采用连续半叠包方式，当用0.13～0.14mm的云母带时，对550V及以下的电压级，不应少于2层；750V级和1500V级不少于3和4层。云母带的缺点是机械强度差，包扎过程中和使用时易磨破损伤，目前大功率的牵引电动机磁极绕组，常用聚酰亚胺薄膜带先包扎两层，以加强对地绝缘强度。最外层用0.1厚的浸渍玻璃丝带半叠包一层。目前，部分中小牵引电动机的磁极线圈上采用框架式绝缘结构，其特点是取消传统的半叠绕对地绝缘的方式，用云母箔或纤维纸卷在闭口的钢板护壳上，再套上已半叠包一层玻璃丝带的磁极线圈（预先浸好漆），上、下用框形布板制的绝缘垫板垫平，以提高绝缘性能并增大漏电距离（见图2-13）。这种结构具有工序简单、套装方便、节省工时和容易散热等优点，但是在一些环境条件恶劣的矿山，反映电气击穿率较高，这是由于该种结构明显的弱点所致，磁极绕组内侧最下层的

一匝与铁壳护套间漏电距离太小，绝缘又很薄弱，一旦该处受潮和积灰后极易击穿，据资料介绍，法国某公司生产的直流牵引电动机，磁极线圈常采用框架式绝缘，但在框架拐角之接缝处采用 Dacron（相当于国内的聚酯毡）初垫密封。因此目前我国中小牵引电机上采用的框架式绝缘结构不适应井下使用条件，必须采用有效的改进措施，如易漏电击穿的下层内侧线匝处，在绕线时应绕包云母带或薄膜粘带，在框架拐角的接缝处用聚酯毡或涂封胶等密封，以克服该处漏电击穿之弊端。

九、电枢故障及修理

工矿直流牵引电动机电枢的电气故障有匝间短路、接地断路、绝缘电阻低和开焊甩锡等。常见的机械故障有绑扎松散、槽楔飞出、轴裂纹、折断以及轴伸锥面损伤等。电枢修理时，常需更换部分甚至全部绕组，此时除不应有匝间短路、接地断路故障外，还应注意换向片节距及嵌头的正确，防止少跨一片、多跨一片、相邻匝线头交叉嵌错及其他较复杂的线头嵌错等。

为了确保电枢正常运行，对修理好的电枢，必须经过严格的检验，方可进行焊头、绑扎及浸漆。此外，在精车换向器及下刻云母槽之后，还必须再次进行检验，直至该电枢确定无任何故障后，方可流入下道工序。

1. 电枢故障的检查

检查电枢故障常用的方法是观察法及用各种检查仪进行测试和检查。

观察法就是通过眼看鼻闻，看绕组是否有烧断熔化，绕组表面是否发黑变深，鼻闻那里的绕组是否有焦煳味等。

仪器测定主要有耐压试验、校灯、短路侦察器、绝缘电阻测定，但最适合各中小矿山使用的是带毫伏表的测片间电压的方法。目前部分矿山的修理单位也开始使用 TY 型牵引电动机电枢绝缘检测仪、TA 型便携式电机匝间耐压检测仪及 TZ 式接触电阻检测仪来对电枢的绝缘状态及故障状态进行检测。

（1）绕组匝间短路　匝间短路是电枢最常见的故障，造成电枢过热烧损并使换向火花增大。电枢绕组产生接地使电动机无法正常运行。匝间短路和接地的原因及防止方法见表 2-21 和表 2-22。

表 2-21　电枢绕组匝间短路的原因及防止方法

故障	原　　因	防 止 方 法
换向片短路	（1）3°面密封不好，有焊锡皮、铜屑或炭粉侵入	（1）3°面间隙应尽量小而均匀，入口处一圈用环氧树脂或玻璃丝带等其他方法可靠填封
	（2）下刻的云母槽内积聚炭粉或金属屑	（2）加强工艺措施，认真维护清理
	（3）工作面的退刀槽口残留卷状铜末形成“导电桥”	（3）表面加工后清理干净
	（4）电枢焊头时的熔锡飞溅到换向器上	（4）焊头后应认真清理
	（5）下线时换向片槽内的锡皮被挤出并附在相邻换向片上	（5）换向片开槽宽不要过小，确保留有 0.2mm 间隙

（续）

故障	原　　因	防止方法
电枢绕组匝间短路	（1）电枢焊头时，锡渗入到前端部各匝之间的缝隙及表面	（1）焊头时应控制锡层的高度及锡量
	（2）电枢绕组前端头部去除绝缘层并搪锡后修包绝缘短，嵌线时匝间隔离不好	（2）嵌线时用薄膜漆布和玻璃丝带波形状垫放，750V以上的牵引电动机应在匝间垫放玻璃布板
	（3）鼻部弯曲处匝间绝缘破损，修补和垫放加强衬垫不当，下线时鼻端或端部敲击过甚	（3）鼻部匝间及相邻线圈鼻下垫放形状合适的加强衬垫，鼻部破损处用玻璃丝带或套管加强，下线时不能敲击过甚
	（4）工作场所及工具不清洁，包扎绝缘时有灰尘和金属屑落入	（4）加强文明生产和管理，改善工作条件
	（5）炭粉、油污和水分等侵入电枢端部	（5）修理时应打开无纬带进行彻底吹扫，然后用洗涤剂冲洗。较大容量的牵引电动机可用填充泥把端部线圈间的所有间隙塞满，这是防止炭粉侵入的有效措施。实践证明这些措施，还可作为端部绝缘的机械保护，对减少电枢线圈匝间短路十分有效
	（6）匝间绝缘薄弱，校验不严格	（6）选择匝间绝缘性能好的导线，如薄膜导线或单丝包薄膜双重绝缘导线等。电枢嵌线后，应采用中频或其它仪器进行匝间耐压试验，电压为1.3倍最大片间电压（不小于50V），用TA型匝间耐压检测仪测试

表2-22　电枢绕组接地原因及防止方法

接地原因	防止方法
（1）下线时槽口处敲击使绝缘损伤，加上运行时电磁力的反复作用，使损伤扩大直至对地击穿	（1）此类损伤只能减少而无法避免。槽口处应填放U形加强衬垫，槽宽下线间隙不宜太大
（2）主绝缘本身电气强度薄弱，包扎层数和厚度不足	（2）改换主绝缘材料或增加厚度
（3）绝缘老化	（3）更换主绝缘
（4）油污，炭粉和水汽侵入	（4）彻底吹扫和清洗，必要时更换线圈
（5）电枢冲片槽形不齐，尖角毛刺穿破绝缘	（5）整修铁芯槽形
（6）多匝电枢线圈的三叉部位处，绝缘包扎不密封	（6）上、下层线圈分别包扎对地绝缘
（7）紧圈式换向器本身易受炭粉侵入造成换向器内部接地	（7）修理困难，以改用拱式换向器为妥
（8）电枢前端部密封性不好	（8）前端部无纬带尽量扎到升高片上和电枢铁心上，把前端部全部覆盖

（2）电枢绕组断路

①电枢匝间短路或接地时产生的高热和电弧烧断导体。

②铜导线上接头碰焊处和鼻部弯曲处受机械应力或外力冲击后断裂。

③电枢导体用锡脱焊或升高片断裂。

（3）电枢绝缘电阻低

①绝缘老化或原有损伤逐步恶化。

②齿轮油从轴伸油封处窜入电动机。

③潮气和水侵入电动机内部。

④炭粉侵入电动机内部。

（4）电枢受潮

①电枢受潮的检验　电枢受潮后，绝缘电阻将很快下降直至零，如仅是电枢线圈受潮，则一经烘干，大多能使绝缘电阻回升，换向器内部进水时则修复要困难些。为检验电枢是否受潮和受潮程度，可用一只毫伏表，其两端分别碰触在换向器和轴上（图 2-16）电枢上不通电，如换向器内有水，则毫伏表的指针会偏转，毫伏越大，受潮越严重，中等容量的牵引电动机，高时可达 100mV 以上。其原因是：当绝缘材料受潮后，增大了材料的介电系数，在 V 形云母环两侧的铜-轴间，相当于电容器的两极板，云母电介质产生了新的极化，电极板上产生了新的感应束缚电荷，从而产生新的附加电场的缘故。

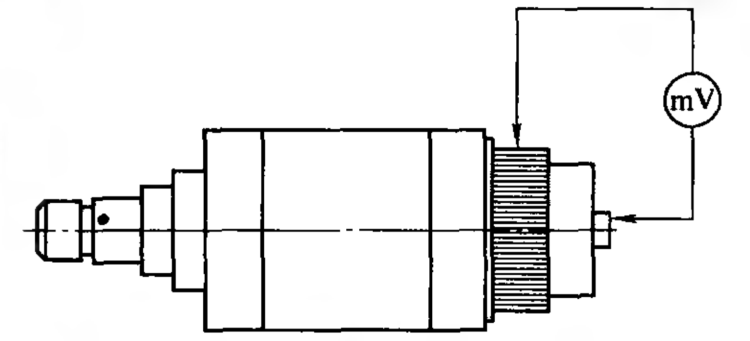


图 2-16　用毫伏表检查受潮电枢

②电枢受潮的修复　先将受潮的电枢进行烘干，如仅是电枢绕组受潮而换向器内未进水，则绝缘电阻会较快回升。但一旦换向器内部进水，虽经烘干，由于水蒸气及热态水不易从换向器内向外排出，当温度下降后又冷凝成水，仍聚集在换向器内，即使长期真空干燥也徒劳，因此，如何排出积聚在换向器内部的水分，就成为修复的关键，为此，可先将换向器表面箍紧，如打钢丝箍或套上压模，然后在加压下拧松换向器螺母或螺栓，进炉烘干后趁热用木槌轻击换向器压圈端平面，使原密封的 3°面上产生缝隙，这时过热的水蒸气就会立即从缝隙处喷射而出，同时沸水沿 3°面一圈向下滴，经这样的滴水放气反复几次，可将换向器内部积水排除干净。如将外侧的换向器压圈拆下，使 V 形云母环及绝缘筒敞开进行烘干，则烘干的速度更快。

由于云母的质地较松软，经受潮和反复烘燥，挥发物已充分排出，此时换向器的片间压力已降低很多，为此必须重新进行热压、冷压及旋紧换向器螺母（或螺栓），并重新加工换向器工作面，换向器紧固螺钉需相应移位。

（5）电压降法测定电枢故障实例

1）单波绕组的内部连接　直流电动机的电枢绕组在嵌入换向片后，形成一个闭合绕组，为了便于分析和判别绕组的各种故障，绘出绕组连接图并找出彼此连接的规律，是十分必要的。

现以 ZQ-24 型直流牵引电动机为例，已知电枢部分的有关数据：磁极对数 $p=2$，

换向片数 $K=185$，并联支路数 $a=2$，槽数 $Z=37$，每槽换向片数 $U_s=5$，槽节距 $y_z=9(1-10)$，换向器节距 $y_k=92(1-93)$，每元件匝数 $N=3$，每只绕组元件电阻值 $R_{a1}=0.0077\Omega$。由此可绘出电枢接线展开图如图 2-17 所示。

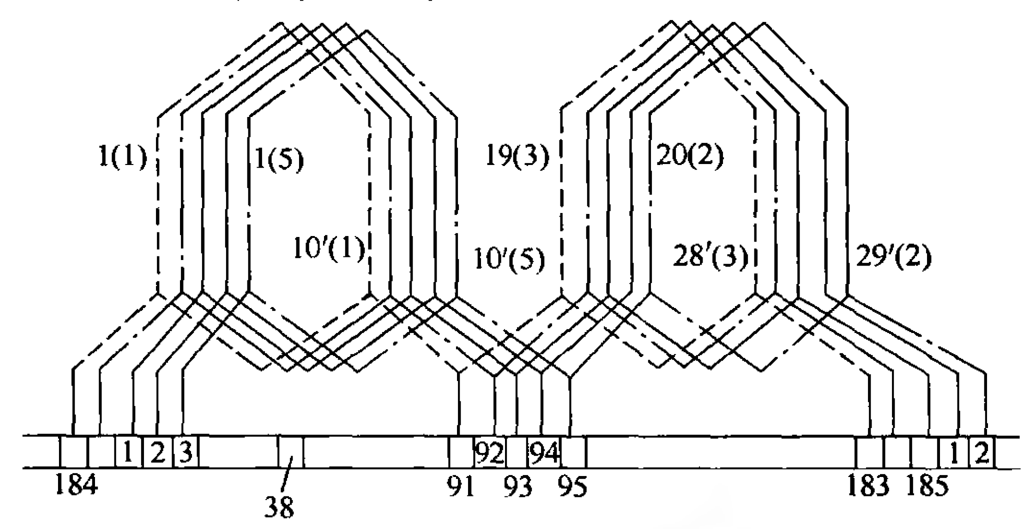


图 2-17　ZQ-24 电枢接线展开图

首先看一下连接相邻两换向片 1 和 185 间的绕组元件：

片 1-1(3)$\overset{R_{a1}}{—}$10′(3)—片 93′—片 93—19(5)$\overset{R_{a1}}{—}$28′(5)—片 185′，其中带“′”表示在下层的导线。

但是连接片 1 和 185 的并不只有上述的两个绕组元件串联而成的一路，因为该路仅连接了片 1 的上层和片 185 的下层，还有一路连接着片 1 的下层和片 185 的上层，该两路都连接到片 1 和片 185 上。按每串联两个绕组元件而换向片向前推进一片的规律可知，该路上共串联（K-p）只绕组元件，如图 2-18 所示。

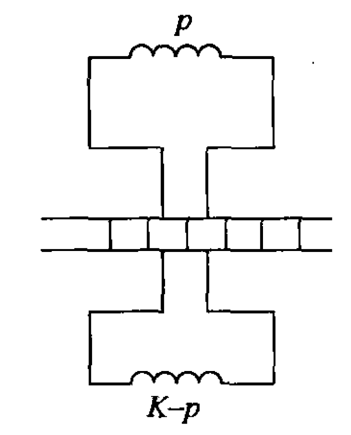


图 2-18　相邻两换向片间电枢电阻两路并联示意图

一般，当欲求相隔距离为 n 片（即第 $1-n+1$）的两片之间的电阻时，可用下面公式计算

$$R_n=\frac{1}{\dfrac{1}{2nR_{a1}}+\dfrac{1}{(K-2n)R_{a1}}}$$

式中　R_{a1}——一个元件的电阻。

如求相邻两片间的电枢电阻时（通常称片数为 1—2），则以 $n=2-1=1$ 代入，如求第 1—15 片的电阻值，则以 $n=14$ 代入，如以极距片数代入，即可算得其电枢电阻值。如 ZQ-24 牵引电动机的电枢每极距的片数为 1—47，即以 $n=46$、$R_{a1}=0.0077\Omega$ 代入公式，可得到 ZQ-24 的电枢电阻 $R_{1-47}=0.356\Omega$。

2）电压降法测定电枢的实例及分析

①电枢正常时　任何四极单波电枢绕组，用电压降法（见图 2-19）测量时，相邻两片的电压降应等于相串联两绕组元件的电压降，对正常电枢，所有绕组元件的电阻均

可认为相等，在被测区内，流过相同的电流，所以，此时所有相邻两片间的毫伏读数应相等。

仍以 ZQ-24 电枢为例，在图 2-17 中，从片 1 和片 38 上引入直流电，测得电压为 1.8V，电流为 3.1A，测得相邻片间的电压降为 48mV，试核算之。

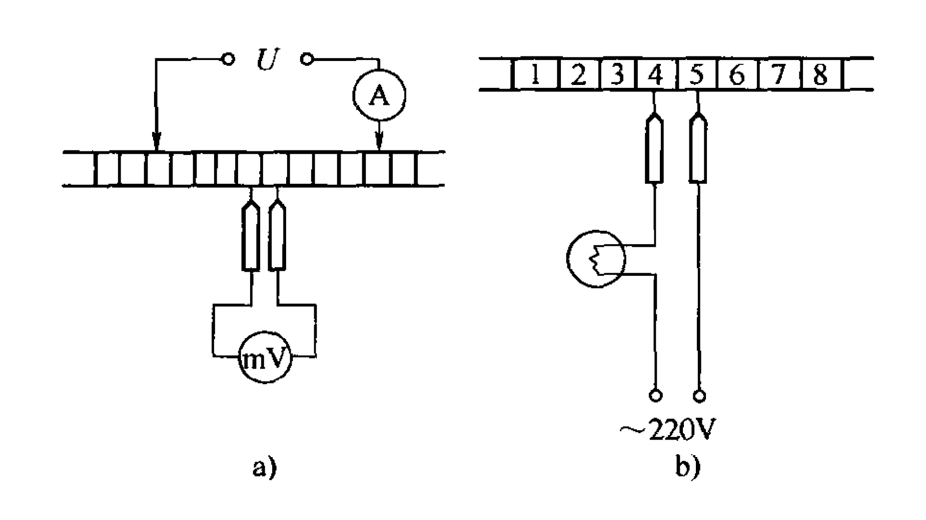


图 2-19　用电压降法检验电枢
a）两片间电压　b）两片间电流

相邻两片间压降 $U_{1-2}=\dfrac{1.8}{38-1}=0.0486\text{V}=48.6\text{mV}$，或 $U_{1-2}=3.1\times2\times0.0077=0.0477\text{V}=47.7\text{mV}$。两种计算方法都验证了测量数据是正确的。

②电枢故障时　见表 2-23 所示，以 ZQ-24 为例说明。

表 2-23　用电压降法测定故障电枢

故障类别	分析图	电压降法测量结果及分析
换向器节距 y_k 多嵌一片	图 2-20	片间压降均匀，用此法不能查出多嵌一片故障，连接图和正常时相似，只不过是片 2 代替了片 185，一个是后退的，一个是前进的。检查方法： ①电枢电流方向反了，呈现与正常电枢相反的极性，用指南针或高斯计可查出 ②装成电动机后，转向和其他正常电动机相反
y_k 少嵌一片	图 2-21	毫伏表的读数时大时小，指针偏转方向忽左忽右，则可初步判定是换向器节距少嵌一片。如换向片数不是 3 的倍数，则当 y_k 少跨一片时，电枢将成如图 2-21 所示的全部绕组元件串联的单闭路绕组。此时，可以把全部换向片号分为 $3n$、$3n+1$、$3n+2$ 三组，该三组的绕组元件顺序全部串联完毕 当换向片数是 3 的倍数（如电枢虚槽数为 3 或槽数是 3 的倍数时），则整个电枢绕组成为一个三闭路绕组，全部绕组元件分为互相独立的三组，换向器片上用万用表测量时，1—2 片，1—3 片均不通，1—4 片则通

（续）

故障类别	分析图	电压降法测量结果及分析
一个绕组元件断路	图 2-17	找出相邻两片间的毫伏数特大时（称该两片的序号为 1、2），且其周围的相邻两片，如 2—3、185—1、3—4、184—185 间均为零。移动引电线夹后，发现原两片的对面处也有相邻两片，其毫伏数也为特大（数出该两片的序号为 93、94），此时可判定是绕组元件断路引起，下面来寻找断路的绕组元件。根据毫伏表特别大的片号为 1、2 和 93、94，选接片 1、2 的两个绕组元件是 2—94、94—1、连接片 93、94 的两绕组元件是 94—1、1—93，其中 94—1 这个绕组元件是共有的，也就是断路的绕组元件。经拆检，将片 94 和片 1 的上层线头脱出换向片，测出 94—1 绕组元件的电阻值为 23Ω，证明确是该线圈断路，但用 220V 校灯测此绕组元件时电铃仍响，表明尚未完全断开，拆出线圈后发现是后鼻端处断裂引起的
电枢绕组接地	图 2-22	若电枢上有一点接地，由于不能构成回路，电动机仍能正常工作。电压降法不能找到接地点，而必须用电压表法 将电压表的一端始终搭地（如搭在轴上），另一端沿换向器上逐片移动，当移到某片（设为片 1）时，电压表的读数为零，搭在片 1 的左或右时，电压表指针分别向两方向偏摆。此时再将电压表搭换向片的一端移到对面处，发现在第 93、94 片处，电压表指针分别向左及右的读数为最小（近于零）。则由此可判定是 1—93 这一绕组元件接地了，而且接地点在离片 1 较近的一端。拆检发现接地是片 1 所连线圈进电枢铁心的槽口处绝缘被凸片刺破而引起的
电枢绕组嵌入升高片处接触不良	图 2-17	正常的两片之间压降均为 40mV，而某两片处增大到 90mV（接触越不好，此值越大）。设该两片的序号为 1 和 2，在相隔约 180°处也有一个相邻两片，其压降也为 90mV，数得该两片的序号为 94 和 95 1、2 两片所连接的绕组元件是 2—94 和 94—1，94 和 95 两片所连接的绕组元件是 95—2 和 2—94，其中 2—94 是共有的，即为故障元件。可在片 2 所连接的上层和片 94 所连接的下层元件嵌入升高片处去查找。经拆检，发现片 2 的上层线嵌入升高片处间隙较大，且渗入了绝缘漆，产生了接触不良而使压降增大。铜导体本身的玻璃丝或绝缘漆未清除干净就嵌到换向片中或该处未焊好，也会产生此结果
嵌入某两片的两匝元件互换调错	图 2-23	在嵌线正确时，第 28 槽的下层 4、5 两个元件 28′(4) 和 28′(5) 应分别对应嵌入片 184 和 185，现错误地将 28′(4) 嵌入片 185，而 28′(5) 嵌入片 184，结果片 185—1(2)—10′(2)—片 92′—19(4)—28′(4)—片 185 所连的两个绕组元件自成闭路，没有被接入到电枢绕组元件的闭合回路中，该两绕组中没有电流。根据上述分析，如用电压降法检查时可发现如下规律： ①毫伏表的一端指在片 92 或 185 上时，另一端搭在其它的任一换向片上，毫伏表的读数为零，也可以用万用表的欧姆挡来测定，如一端搭在片 92 或 185 上，另一端搭任一片时都不通 ②片 184—1 和 91—93 间（均隔开了一片）的电压降等于其他任何相邻两换向片间的电压降（正常值），而其余在隔开一片的两换向片上的压降为正常值的两倍。实践证明，如果是嵌入 184 和 185 两换向片的上层元件对调嵌错，其结果和下层元件对调嵌错相同

（续）

<table>
<tr><th>故障类别</th><th>分析图</th><th>电压降法测量结果及分析</th></tr>
<tr><td>匝间短路</td><td>图 2-24</td><td>
在用压降法测定各相邻两换向片间的毫伏时，大多是某两片之间的小于正常值，设该两片的序号为 94、95，而在其相隔约 180°处则有三片（即两个压降）之间的压降也小于正常值，但比 94 ~95 间的大些，定该三片的序号为 1、2、3。具体测得的数据如下：
<table>
<tr><th rowspan="2">转子序号</th><th colspan="4">相邻两片间的电压降/mV</th></tr>
<tr><th>正常值</th><th>1—2 片间</th><th>2—3 片间</th><th>94—95 片间</th></tr>
<tr><td>1</td><td>40</td><td>20</td><td>20</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>60</td><td>39</td><td>39</td><td>18</td></tr>
<tr><td>3</td><td>48</td><td>27</td><td>27</td><td>8</td></tr>
<tr><td>4</td><td>40</td><td>30</td><td>30</td><td>18</td></tr>
</table>
从上表中的数值，不难发现有如下的关系：

$$U_{1-2}=U_{2-3}=\frac{U_{正常}}{2}+\frac{U_{94-95}}{2}$$

这一关系式可由图 2-24 来分析证明，U_{1-2}是绕组元件 2—94′和 94—1′压降之和，这分别是上式中的两项之和，由于在 C 点处短路了，所以绕组元件 94—1′中的压降只剩下 94—C 这一段了。由于短路片数多少的不同，压降减小的片数也不相同，但短路点总是在片数少的一面和压降最小的换向片所连的绕组元件内
根据压降减小的比例来大致判定短路点的位置，具有一定的实际意义。如 $U_{94-95}\approx 0$，则短路点在靠近换向片处。该值越大，离换向片越远，但是这只能是在短路处接触电阻近于零（俗称死短路）的情况下才能成立，因此这个方法只能作为拆修时参考
</td></tr>
<tr><td>相邻三片的三个绕组元件交叉嵌错</td><td>图 2-25</td><td>
ZQ110-1 电枢，槽数 39，每槽 5 片，槽节距 10（1—11），换向器节距 97（1—98），用压降法测得换向器上有两处各三片的毫伏小，正常均为 20mV，片 1—2、99—100 间为 0，片 2—3、98—99 间为 13.5mV，根据一般经验，不能确定故障情况。拆检时，挑出片 1、2、3、98、99、100 的上层电枢线头（两根并绕的两个导体均需从换向片中挑出），用 220V 校灯找到各导体所跨接的换内片号，两个并绕导体记为（a）、（b），如下：
线头 1（a）—片 100
线头 1（b）—片 98
线头 2（a）—片 98
线头 2（b）—片 99
线头 3（a）—片 99
线头 3（b）—片 100
根据 $y_k=97(1—98)$ 可见，其中打＊号的三处跨距不对。进一步拆检时发现应嵌入片 98 的下层线头误嵌入片 100，如图 2-25 所示。到此就可以画出实际的电路图，计算出 U_{2-3}，U_{98-99}的压降为正常值的 2/3，即实测的13.5:20 的关系
</td></tr>
</table>

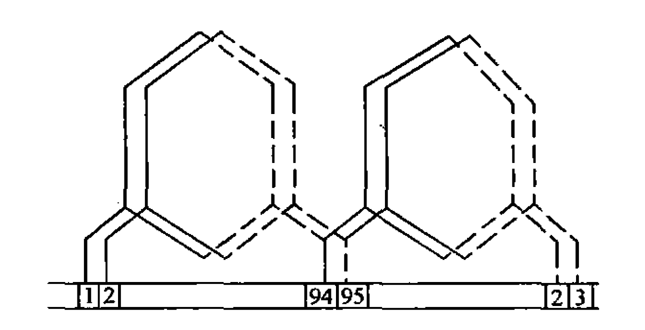


图 2-20　ZQ-24 换向器节距多嵌一片接线图

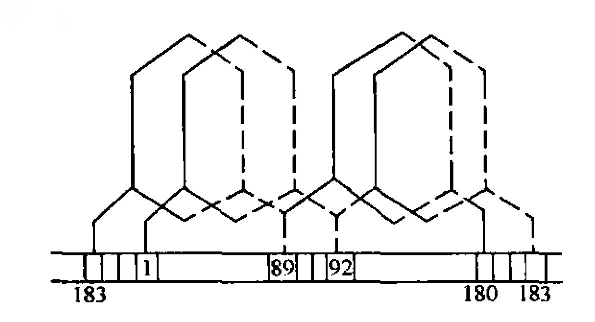


图 2-21　ZQ-24 换向器节距少嵌一片接线图

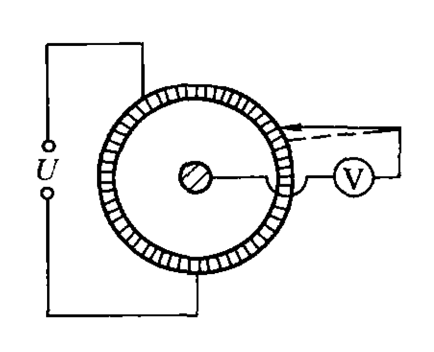


图 2-22　电压表法测电枢接地

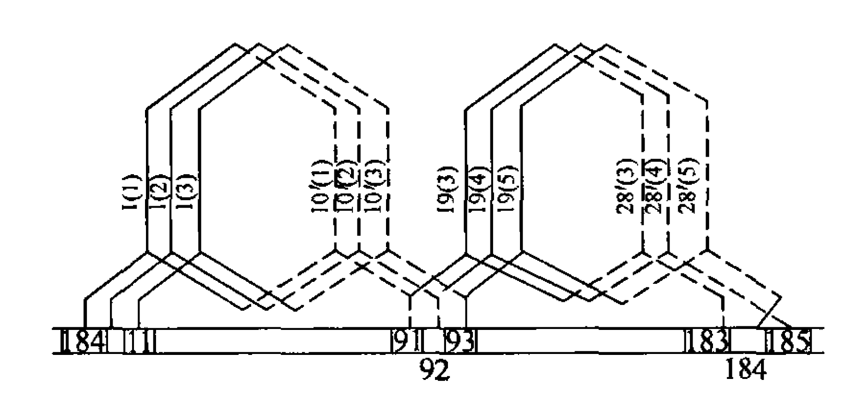


图 2-23　波绕组两片嵌反

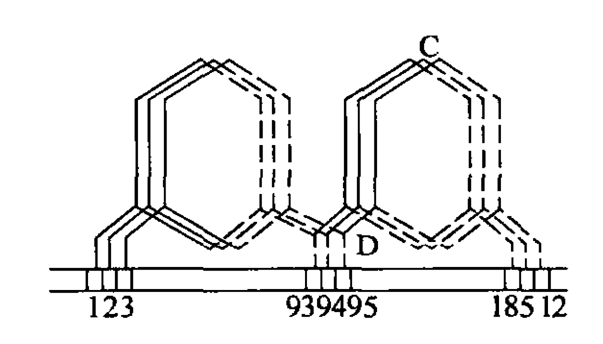


图 2-24　波绕组匝间短路

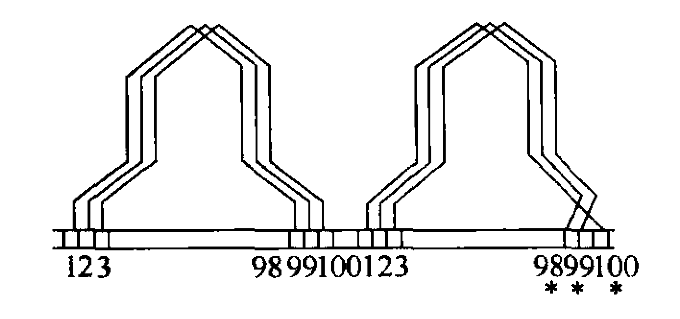


图 2-25　相邻三片的三个绕组元件嵌错

2. 旧电枢及绕组的拆除及重嵌

在解体牵引电动机抽出待修复的电枢时，应对总装各要素进行记录，如端盖、盖板、抱轴轴承及其紧固零件的相对位置、数量等，以便在修复重装时能全部准确对号复位，避免总装发生不必要的错误。

（1）电枢线圈的拆除和清理　在对旧电枢线圈拆除及重嵌前，应认真做好原始记录及各种标记。如在绕组的节距所在的槽的铁芯上做好记号，可用油漆标记或打上钢印符号等。记录好电枢绕组节距，换向片上的节距，均压线的连接形式、线径和节距，最好绘出电枢展开图，然后可以开始拆除旧绕组并对铁心等进行清理。

①拆除电枢绕组时应做详细记录，如绕组形式、导线规格、并列导体数（即每槽换向片数）、并绕根数、电枢绕组元件匝数、槽数、换向片数、槽节距、换向器节距、绝缘等级及线圈本身绝缘情况（包括匝间、层间、鼻部加强、对地、外包等）、槽衬绝缘、前后端的支架绝缘、端部匝间绝缘及其余的加强绝缘等。另外，最好保留一只形状

准确的旧线圈，以便在修复线圈和包扎绝缘时作对照。

②拆除电枢绕组要在热态下进行（70～80℃），此时线圈柔软性好，利于拆出线圈并减少损伤。电枢导体与升高片之间因有锡焊牢，拆除线圈时切不可硬挑，以防导体或升高片断裂，可先用一根扁平凿，其宽度略小于升高片槽宽，伸入换向片槽中，用榔头向下冲击，使原焊牢的导线松动一下，然后可从端部把导线向上挑出。也可用特制的电烙铁或热风枪加热使锡熔化，但应防止局部过热，以免损伤换向器的对地和片间绝缘。用氩弧点焊焊接的电枢，必须先车削去换向器侧平面上的焊点。拆除时，应尽量保护旧绕组，不使变形太大，修复后的线圈最好要经过整型或复型，使所有线圈形状统一，这样可方便嵌线，同时也不易产生匝间短路。

③拆除线圈后，将铁心槽内残留绝缘片屑清除干净，擦去灰尘油污，歪斜、弯曲不平的冲片和端板要整型，以恢复冲片槽形的平齐。槽口安放槽楔的楔形槽部更要求平齐，否则不但打入槽楔困难，而且影响其强度。烧损严重的电枢冲片，可在换轴时用备用冲片更换，也可将烧损的冲片分散搭放在完好冲片之间。

④旧的换向器升高片要整平复直，清除槽内残锡，如工作面磨损不多，经220V、2s的片间耐压及对地耐压，试验合格后，即可继续使用。

⑤检查转轴各配合挡的尺寸及有关部位的同心度，如电枢铁心外圆，各轴承挡、换向器工作面等对两端中心孔，除电枢铁心外圆处外，均不得大于0.03～0.04mm，否则应修正中心孔或重新磨削有关表面。

（2）电枢线圈的修复　扁铜导体绕制成的旧线圈经整修和检查，一般可复用烧损的旧绝缘，可用电工刀局部清除，经匝间检查修复后即可重包对地主绝缘和外层防护绝缘。

电枢线圈的绝缘结构、品种和层数，最好按照原来的实物，见表2-24。

表2-24　电枢线圈对地绝缘和外包绝缘层数

额定电压 U_n/V	耐压/V	对地绝缘	外包绝缘
≤150	$2U_n+1000$（最小1500）	0.14云母带半叠包1次或0.05聚酰亚胺薄膜卷包$2\frac{1}{2}$	0.1玻璃丝带半叠包或平包一次
>150～600		半叠包2次或$2\frac{1}{2}$卷包，材料同上	
750	$2.25U_n+2000$	半叠包3次或$3\frac{1}{2}$卷包，材料同上	
1500		半叠包4次或$4\frac{1}{2}$卷包，材料同上	

注：1. 表中的绝缘层数和厚度为最低的要求，修理时可根据绝缘位置适当增加。

2. 表中卷包层数中$\frac{1}{2}$是指绝缘在线圈断面周长上重叠一半，且搭口应在线圈的宽边上。

包扎绝缘时应严格控制线圈的宽度和高度，使嵌线时在槽中不过松或过紧，以免影响导热和绝缘可靠性。导线本身的匝间绝缘大多为单或双玻璃丝包和聚酯或聚酯亚胺漆包，为提高匝间可靠性，对电压较高的电动机需在电枢导体的直线部分匝间用上胶坯布衬垫并烘压成型（称胶化工艺）。在线圈的两个端部及鼻部则要垫入条状或人字形的衬垫。修复后的线圈须经匝间和对地耐压试验。

对被短路或对地击穿烧损的导体，可用银铜焊加接上一段相同线规的导线，如操作位置可能，也可以用碰焊，但最好加银焊条以确保焊牢，焊接处锉平去毛并包扎绝缘后即可嵌入原来的位置，再刷绝缘漆。

修理中重嵌导线头后的升高片处应重新焊牢，为确保不虚焊，应去除线头及槽中的油污和氧化层。如能用氩弧点焊，则修复效果更好，但对搪过锡的线头较难掌握。

(3) 电枢绕组的重嵌

在对电枢重新嵌线前，应再次核对所有嵌线的零部件是否已经齐全，并且均处于完好的状态。

①电枢线圈形状一致统一，对地及匝间耐压均已检查合格。

②电枢铁芯完好，换向器片间及对地耐压符合要求，换向器升高片无缺损，电枢轴锥度面（或圆柱面）及中心孔均达到要求，铁心槽内无毛刺及异物并仔细擦拭干净。

③嵌线用各种辅助材料、绝缘材料均已齐备到位，包括槽底垫、槽楔、楔下垫条、支架绝缘、层间绝缘、隔匝绝缘等。

④辅助工具及检测仪器等。

对电枢绕组嵌线时的基本要求是：绝缘不得有任何机械损伤，特别是在入槽口处不得刺破绝缘层。线圈入到槽内应紧密适当，为方便下槽，可用机械强度较高的薄膜作波形槽衬垫。端部伸出长度均匀一致，鼻端排列整齐。为了避免嵌线时线圈损伤，为了放置好最后一个节距的下层直线边线圈，此时应将遮盖住放置最后一个节距下层线圈的所有上层线圈统统向上方提出一个高度，此工序又称“翻线”，以便可以方便地放入最后一个节距数量的下层线圈。

电枢的主要嵌线数据有槽数、换向片数、槽节距和换向器节距等。此时应先弄清电枢铁心槽中心应对准换向片中心还是云母片中心，即铁心槽中心与相应片中心的定位问题。

电枢绕组嵌线时，必须弄清铁心槽中心与铜片或云母片中心之间的定位关系，对中的偏差应尽量小，因为这偏差相当于电刷偏离了几何中心线，偏差过大会加剧磁场的畸变及各支路电势的不均匀度，使电动机的转速及两个旋转方向的转差发生变化，同时引起换向火花的增大。铁心槽中心与铜片中心定位的判别原则如下。

①槽节距 y_z（以槽数计）和换向器节距 y_k（以片数计）同是奇数或偶数，则铁心槽中心线应对准换向片中心线；如两者中一个是奇数、一个是偶数时，铁心槽中心应对准云母片中心。

②若第二节距 y_{2k}（以片数计）等于偶数，则铁心槽中心应对准铜片中心；若 y_{2k}等

于奇数，则应对准云母片中心。这是因为，若 y_{2k} 是偶数，$\frac{y_{2k}}{2}$ = 正整数，即铁心槽中心与相应嵌入片之间相隔整数个换向片，由于电枢导体线头嵌入的片必定是铜片中心，所以铁心槽中心必然要对准换向片中心。当 y_{2k} 是奇数，则 $\frac{y_{2k}}{2}$ = 正整数 + 0.5，这只有使铁心槽中心对准云母片中心才能实现，如图 2-26 所示。

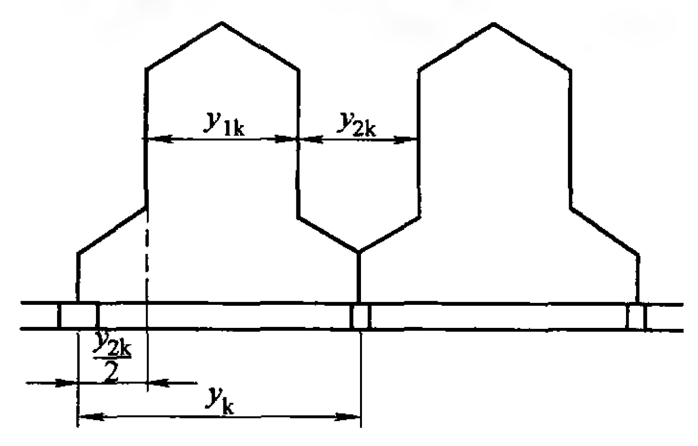


图 2-26　电枢绕组嵌线原则

对于刷架可以转动的电动机，即使铁心槽中心与换向片（或云母片）中心间的定位偏差略大，亦可以借助转动刷架来补偿中心定位的偏移，因此可放大定位的误差。

表 2-25 列出几种工矿直流牵引电动机的电枢嵌线数据及铁心槽中心的对准。

表 2-25　几种工矿直流牵引电动机电枢嵌线数据及铁心槽中心对准

电机型号	Z	K	U	y_1	y_{1k}	y_k	y_2	铁心槽中心对准
ZQ-21	43	129	3	10	30	64	34	换向片
ZQ-24	37	185	5	9	45	92	47	云母片
ZQ-52	45	135	3	11	33	67	34	换向片
ZQ-78	39	195	5	10	50	97	47	云母片
BZO_2-52	31	93	3	8	24	46	22	换向片

3. 工矿直流牵引电动机的转轴修复及换新

（1）转轴常用的材质及热处理　中小型牵引电动机的转轴常用 45 钢制成，大、中型牵引电动机的转轴，为了提高其强度和使用寿命，采用 35 铬钼等优质合金钢，为使材质有良好的综合机械性能，应先进行正火或调质处理，其性能应符合表 2-26。测试性能用的试棒和试样应随炉和随料选取。

表 2-26　转轴材质、热处理及力学性能要求

材质	热处理＼力学性能	抗拉极限 σ_b/MPa	屈服极限 σ_s/MPa	延伸率 δ/ %	冲击值 α_k	断面收缩率 ψ/%	布氏硬度 /HB
45 钢	正火	6.5	3.2	15	3	40	≤217
	调质 850℃淬火 650℃高温回火	7.0	4.5	12	5	50	212～241
35CrMo 40Cr	正火	7.95	4.78	18.3	6	60.1	207
	调质 850℃淬火 520～550℃高温回火	9～10	7～8	10～15	5～6	50～55	241～261

（2）转轴裂纹及折断的常见原因

①中小型机车不正当的使用电制动，反接制动和牵引掉轨道的车辆时，承受了不可允许的过负载和过转矩。

②转轴的材质选择不当或热处理不当，降低了应有的力学性能。

③长期承受冲击负载后，使轴产生疲劳。

④各轴肩处的过渡圆角加工不当，造成应力集中。

（3）牵引电动机换轴工艺　由于牵引电动机转轴需传递很大的转矩，工作条件又十分恶劣，采用镶套和接轴的方式修复转轴，对牵引电动机是不适用的。

牵引电动机转轴锥度轴伸及各挡圆柱外圆面上轻微的损伤是常见的，常规的修复方法是金属喷镀和焊补，前者适用于圆柱面磨损且涂覆层较小的场合，而后者则适用于修复面积不特别大情况，但是不管是喷镀还是焊补，均需按一套已较为完整和成熟的工艺进行，才能确保焊修或涂层面的牢固，从而保证修复的质量和使用寿命。

修理国内外牵引电动机的实践表明，转轴报废换新的原因大多是锥度面、键槽、轴头螺纹及轴承挡的严重损伤所致，往往是无法修复而只能换新。有一些牵引电动机生产厂家在使用说明书中规定了转轴各外圆挡及长度挡的磨损极限尺寸，但这种情况基本上用不到，换轴是简便而行之有效的方法。换轴的工艺过程及注意事项如下。

①要用适用的压机、压制工装及辅助工装等。压机的压力要足够并有余量，由于轴上各零部件如轴套、轴承内圈、电枢压圈、电枢冲片（或内套筒）、换向器套筒等都与轴紧配合，所以旧轴压出时的压力都较大，中、小牵引电动机大多在60～100t，而铁道干线牵引电动机则要接近200t。压机的台面平整度、行程的垂直度均需进行检查。压轴时应注意选择的承压面要尽可能大，下方的压块垫要有足够的强度和刚度，以免受力时变形扭曲。压块垫、套筒等的孔径要与轴相应挡位处的直径相配，注意了以上各项，使受压的轴不会弯曲。换轴过程中，电枢经常要翻身换位，简单的方法可以做一副抱箍，吊装的钢绳可以夹放在抱箍分界面的紧固螺栓内侧，对一般牵引电动机电枢的质量在500～800kg之间时，此分界面处的紧固螺栓不宜小于M16。

②压出旧轴宜在热态下进行，应在150℃的烘箱内放置4h以上，使受热均匀。

③旧电枢的转轴被压出后，剩下的部分由于有电枢绕组，使之仍能可靠地连接在一起，但应注意不可承受外力的撞击，以免各零部件移位甚至松脱，如有可能，应不从压机台面上吊下，而等待直接压入预先准备好的新轴为好。

④旧电枢的转轴被压出后，应查看换向器套筒，电枢两侧压圈、轴套等各挡的内孔中是否有拉毛情况，如已拉毛应将内孔修平修圆，以使新轴能顺利压入，而不致由于拉毛处太大的过盈量造成压力过大而新轴弯曲，甚至无法压入新轴。

牵引电动机的转轴加工工序较多，主要的工序如下：断料—打中心孔—车总长—粗车各挡—调质—校对总长尺寸—精车非锥度端—精车锥度端各挡（锥度面除外）—精车锥度—探伤—车端面及吊装螺孔—钻攻轴头螺孔—钻注油孔—半精磨各挡外圆—精铣键槽—去毛—精磨外圆—精磨锥度—精磨轴承挡—车轴头螺纹—去毛—涂防锈油—套锥度保护套—检验入库。

转轴加工中还应注意以下几点。

①为防止轴变形，铣键槽必须放在半精磨各挡之后，而精磨各挡外圆放在最后。

②原材料检验、热处理、探伤、力学性能测试等均须按相应规程进行。

③轴承挡及锥度磨削等，均要保证相应的尺寸精度、粗糙度及形位公差。

④锥度面应用专用的环、塞规进行检查，最好应按机车厂提供的为佳，以保证锥度与齿轮内圆的接触面达80%～85%以上。

（4）无键轴伸损坏　与带键连接的轴伸相比，无键轴伸具有传递力矩大，拆卸方便和锥面不易损坏等优点，无键轴伸损坏原因及防止措施见表2-27。

表2-27　无键轴伸损坏原因及防止措施

故障	原　因	防止措施
退不下齿轮	（1）过盈量太大 （2）油枪坏 （3）轴伸油槽两旁配合面不成环，油枪加压时，压力油泄漏 （4）轴伸油路堵塞	（1）根据转矩计算过盈量，ZQ-78为0.12mm，ZQDR-410为0.15mm （2）更换或修理油枪 （3）套上齿轮前应加强锥度接触面的检查和修复 （4）弄通油路
齿轮和轴伸间打滑	（1）热装过盈量太小 （2）轴伸和齿轮内孔的锥度不配合 （3）锥度配合接触面太小，应不小于80%	（1）正确掌握过盈量 （2）用配套的环规和塞规分别检验轴伸和齿轮内孔的锥度 （3）用红印油检验配合面积，过小时要重新磨削锥度面

用油枪拆卸齿轮的过程如下（见图2-27）。

①旋进螺杆C使其头部贴住内空腔的顶部，以排出内空腔中的空气。

②把B端浸入油箱中（常用40号机械油），然后把螺杆反向旋出，使油从B端吸入内部空腔中。

③在轴伸处，将压紧螺母旋松几牙，但切不可将螺母旋下，以防在脱齿时齿轮猝然弹出打伤人。

④把油枪B端旋入轴伸端的中心螺孔中，斜面A处必须贴合紧密，以防脱齿时压力油泄漏。

⑤用圆铁棒插入油泵末端的圆孔中，扳动铁棒，使螺杆C逐渐拧入，使空腔中的油进入轴伸的油孔以及油槽中，当继续转动螺杆，使油压增加到一定值时，借助配合面的锥度方向分力，齿轮即自然脱下。

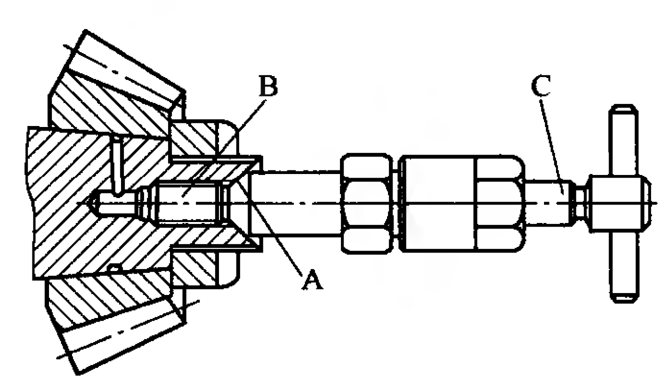


图2-27　油枪拆卸齿轮示意图

⑥旋出油泵，拧下螺母，即可取下齿轮。

电动机修理完毕后，必须用热装法重新装配小齿轮（可用油加热或感应加热以扩张内孔），步骤如下。

①将齿轮内孔和轴伸表面用汽油擦干净，锥度配合面应光滑无损伤，红丹油研磨检查接触面积不小于80%，且在油槽周围应接触完好。

②冷态下将小齿轮顶套入轴伸，借助自重轻轻放下，但必须保证配合面已密合。

③量出齿轮下端平面，与电动机轴承盖相应平面处的距离 L_1（图2-28）然后配制三个等高的垫块，其高度 $h=L_1-10\Delta$，其中 Δ 为锥度配合面套装的过盈量，一般取0.12～0.15mm，中型牵引电动机常取0.12，则 $h=L_1-1.2$。Δ 前的系数随锥度而变，对1∶10的锥度时取为10。

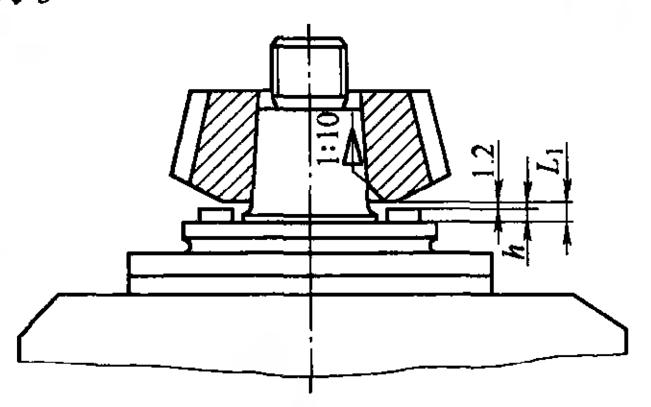


图2-28 无缝连接时套装齿轮图

④取下小齿轮，加热到206℃ $+t_0$ 的温度，其中 t_0 为轴的温度，一般即室温。到达温度后保温10min，然后取出小齿轮，迅速用绸绢揩净内孔并套在轴上，小齿轮下平面紧压在等高垫块上，立即旋紧轴头的防松螺母，待其自然冷却到室温后即可取下等高垫块。

以上套装过程适用于电动机轴头向上时进行，也可采取卧装，但应注意保证套装的过盈量，防止套装时退出，操作比立装要困难些。

4. 换向器升高片与电枢绕组导体常用的焊接方法

电枢绕组导体和换向器升高片处必须焊牢，并要求接触电阻小，导电良好，焊接热影响范围小，使不致损伤绝缘和降低换向器硬度。

电枢开焊的主要现象是升高片发黑、绕组缩头和甩锡，造成原因是制造工艺不良或使用过负载。由于电动机发生环火而产生的大电流冲击，也能引起开焊，并极易造成升高片后部匝间短路，从而烧损无纬带和电枢导体。

牵引电动机电枢绕组与换向器升高片间的焊接，可用锡纤焊或熔焊。前者可分为烙铁焊、整体浸焊和波峰焊三种，而后者仅有氩弧点焊一种。

（1）烙铁焊　烙铁头部的形状要适应升高片的需要。此法设备简单，操作方便，热影响区较小。

（2）整体浸焊　设备如图2-29所示，适合于批量较大时用。当沉箱4上下运动时，熔化的锡面5相应升降。座圈3须按换向器直径大小的不同而更换，使一台浸焊设备能适应多种电枢使用。石棉绳2起密封作用，使熔锡不会从中间孔处漏

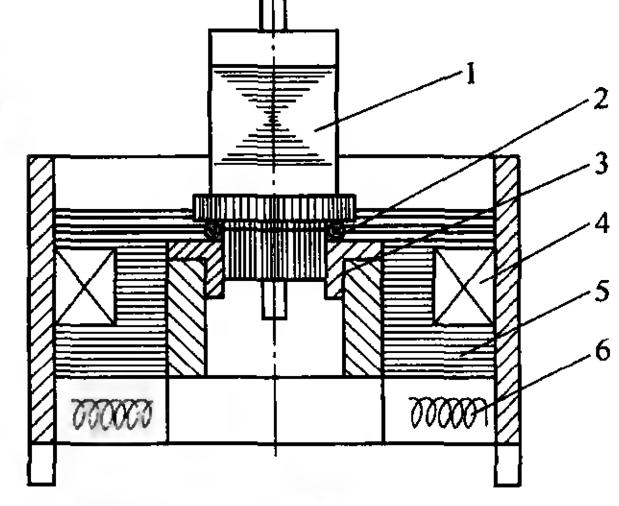


图2-29 电枢整体浸焊示意图

1—电枢　2—石棉绳　3—座圈
4—沉箱　5—熔锡　6—电阻丝

出。电阻丝6置于锡锅的下方。

为使焊接牢固和减小热应力，整体浸焊时应注意以下几点。

①电枢先预热到120℃左右再焊接。

②电枢放置要垂直，使升高升浸入锡面高度大致相等。

③锡温一般在290～330℃之间，时间2min左右，焊透无虚焊即可。过热时将产生很大的内应力，易造成换向器的凸片和松动变形。

④升高片浸锡面处先刷焊剂（松香和酒精4:6），焊接时在四周锡面上撒松香粉，以加快上锡并使焊接牢固。

⑤最下层的电枢铜导体不宜太深，对采用成型绕组的中、大型牵引电动机，更应注意，否则由于锡难以渗透到下层而产生未焊牢情况。

⑥对铆接式升高片的电枢，焊接前应有形状和尺寸均合适的木楔插入升高片之间，焊接后再去除，这样可使升高片焊接牢固，位置正确，不会碰片短路。

⑦多次反复使用的焊锡中含铜量上升，将使流动性下降，焊接强度降低并不易焊牢，一般焊锡中的含铜量应经常控制在3%以下，常用焊锡牌号、性能和成分见表2-28。

表2-28　常用焊锡的牌号和成本

焊锡牌号	元素含量(%)			适用于何种绝缘等级	抗拉强度/MPa	熔点/℃
	Sn	Pb	其他			
纯锡 Sn-3	99.565		0.435	F或H级	26	232
锡铅合金 HISnPb58-2	39～40	余量	1.5～2	B级或以下	38	183～235

（3）波峰焊　它是利用焊机内的泵压出一股平稳的液态焊料，以波峰的形式压至焊接位置来进行焊接，适用于中小直流电动机的电枢焊接，与整体浸焊相比，具有焊接温度均匀、焊接速度快、换向器表面温度低、生产效率高和省电等优点。此外，还具有易于控制，质量稳定可靠，劳动条件好，易实现自动化等特点，是值得推广应用的一种电枢焊接方式。

（4）氩弧点焊　采用钨丝电极和惰性气体保护，用高频电引发电弧，使电枢导体与升高片熔成焊点，熔化深度为2mm左右，一连串焊点形成焊线，从而将线端焊牢，图2-30示出其工作示意图。本法的优点是焊点可靠，各片的接触电阻均匀，无焊接热应力，热影响区小，此处还可省去换向片嵌线槽和电枢导体端头的搪锡和清理工序。目前我国中大型的牵引电动机均已采用此法，对防止电枢开焊甩锡，提高焊接质量十分有效，氩弧点焊是目前最好的一种工艺，已成为国内、外牵引电动机制造和修理中最佳的焊接方式。

本法的缺点是焊接时间较长，要采取必要的防护措施并尽可能实现自动或半自动焊接。焊接的设备较昂贵和复杂。

随着手工氩弧焊设备和技术的日趋成熟，目

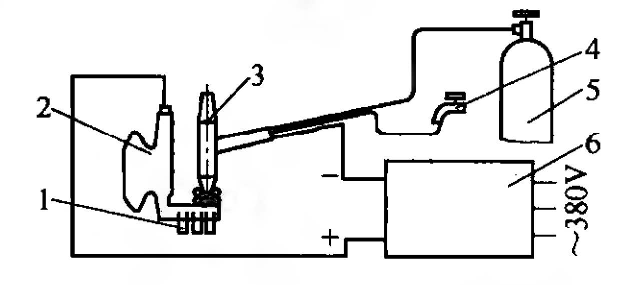


图2-30　电枢氩弧点焊工作示意
1—电枢导体　2—换向器　3—钨棒焊枪
4—水　5—氩气　6—电源

前已有常州丽华电机电器厂等工矿牵引电机制造厂，在中小型工矿牵引电动机上采用了TIG氩弧焊，有效地提高了换向器升高片与电枢导体间的焊接质量，防止了开焊甩锡的发生。

十、换向器故障及修理

1. 牵引电动机换向器的主要技术要求

1）工作表面应为稳定的圆柱形，在热态下工作表面的圆跳动不应大于0.03mm，任意相邻两换向片间的圆跳动不大于0.005mm。

2）换向器动压成型和超速前后，分别测量换向器工作面直径，同一处的变形量应小于0.03mm。

3）换向片分布均匀，在每相隔约一个极距的换向片组上测量，弦长之差不得超过0.8～1.2mm（直径大者取大值）。

表2-29 换向片与轴线不平行度允差

换向器工作面长/mm	≤50	>50～100	>100～200	>200～400
允许偏斜/mm	0.6	0.8	1.0	1.2

4）换向片与轴线要平行，允差见表2-29。

5）要求下列各部位密封良好。

①换向器3°面入口处。

②换向器紧固螺母或螺栓处。

③换向器套圈与电枢前压圈的配合处。

6）两端V形环外露3°圆锥体表面具有高的耐电弧能力。

7）换向器工作表面的粗糙度要细于R_a0.8。

8）换向器的对地耐压和片间耐压应符合标准要求。

对于修理的电动机，在保证正常运行的前提下，允许将其中部分要求适当降低。

2. 牵引电动机换向器的常见故障及消除（见表2-30）

表2-30 换向器常见故障原因及消除方法

故障	原　因	消除方法
片间短路	1）燕尾槽或其他表面有铜毛刺 2）换向器叠装时落入金属屑 3）换向器3°面密封不好，金属屑落入 4）换向器焊头或运行时的锡块和锡皮掉入升高片后的3°面缝隙中 5）片间云母或偏片损坏或折断 6）片间云母槽内炭粉和污物积聚	1）严格车削和清理工艺 2）加强装配时的清洁 3）应把3°面填密封 4）换向片槽内残锡应清理干净，焊头时锡面不要过高，无虚焊 5）更换片间云母或铜片，详见下文修复工艺 6）云母槽不可过深并应及时清理或加树脂类填充物

（续）

故障	原　　因	消 除 方 法
接地	1）V 形环击穿,V 形环材质不好 2）换向器内部进入金属异物 3）换向器受潮浸水 4）两侧 3°锥体表面有污物粉尘引起对地爬电击穿	1）适当减小换向器压装吨位,两端 30°锥面要同心和一致 2）解体后清除异物,再按工艺恢复 3）修复方法见电枢的故障检查及修理内容 4）加强该面的清洁和维护或粘贴聚四氟乙烯保护层
松动变形和凸片	1）压装吨位偏小,片间压力不够 2）压装工艺不完善 3）片间云母和 V 形环塑型云母继续变形,尺寸稳定性差 4）电枢导体与升高片焊接时热变形大 5）长期运行后受温度湿度和机械应力的影响,云母不断收缩变形使片间压力降低	1）可比计算压力增大 20% 进行压装 2）严格换向器压装,动压成型和超速工艺 3）增加压装,动压成型和超速次数,改用性能和尺寸较稳定的云母材料 4）改进焊头方法,严格焊接工艺,严格控制温度和时间 5）加温加压后拧紧换向器的紧固螺母或螺栓,重新精加工换向器工作表面
升高片断裂	1）升高片槽太宽太深,根部单侧厚度太小 2）升高片铣槽歪斜,根部单面厚度太小 3）升高片车削时进刀太猛,引起升高片歪斜 4）机械碰伤	1）槽根部单侧厚不得小于 0.7mm 左右,视工艺条件而定 2）改进铣槽工艺 3）切削参数应适当,刀具应锋利 4）升高片处外圆在加工前就应比电枢直径小,并注意文明搬运和堆放

3. 换向器的主要修复工艺

（1）更换损坏的换向片和云母片　换向片和云母片外表损伤，修复较容易，如故障点在内部，则必须将换向器解体后方可修复或更换，简要工艺过程如下：

1）从电枢上压出或拉出换向器，用钢丝箍或带伸缩性的橡胶带将换向器工作面箍紧。

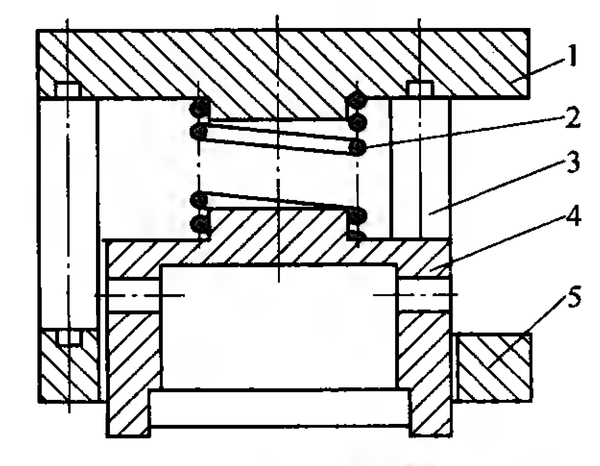


图 2-31　换向器拧紧螺母工具
1—上压板　2—弹簧　3—联接圆杆
4—带爪压头　5—下压板

2）在加压下逐只拧松拉紧螺杆，或用图 2-31 所示的拧紧螺母工具反方向退下螺母。上压板承受的压力通过均布的三根连接圆杆传动下压板和换向器压圈上，压头的爪卡入换向器螺母的槽中，加压后，用圆棒伸入项 4 圆孔中，以顺时针方向扳动，直至拧紧换向器螺母为止。弹簧用以压紧带爪的压头，不使扳紧时跳

起。

3）分离换向器压圈和换向器套筒。最好在换向器压圈外侧面上钻三个均布螺孔，然后用工具拉出，也可用锤子等敲击脱出。

4）将外圆箍紧的换向片组平放于木板上，用三个等高块垫在下面，将需更换的部位置于二个等高垫块之间，逐步打出需更换的换向片，同时插入更换的新片，此片可用其它废旧换向器中的成型铜片，也可用烧坏的铜片经气焊焊补后修锉到所需尺寸。应注意新更换入的铜片或云母片的内边必须锉修平整，不可凸出，否则换向器重新组装时将压伤云母环。

修复后的换向片组应进行严格的检查，剔除铜片外周的铜刺并做好清洁工作，确保V形槽内无铁屑、铜末等异物。

5）按装配工艺守则组装换向器，同时再次检查有无片间短路，接地等故障，复核套筒的键槽中心是否对准铜片或云母片中心。

6）按规定的压力用换向器螺母拧紧工具旋紧螺母，然后即可烘焙和热压、冷压，同时再旋紧螺母。这一过程最好要重复二次以上，以确保足够的片间压力，防止松动变形。

换向器的烘焙时间、温度和压力见表2-31。

表2-31 换向器的烘焙时间、温度和压力

工序	烘焙温度/C		烘焙时间/h					
	绝缘等级		换向器直径/mm					
	B	H	≤100	>100~200	>200~300	>300~400	>400~500	>500~600
动力成型保温或超速前预热	140±5	160±5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
片装	160±5	180±5	1	2	3	4	5	6
器装	160±5	180±5	1	2	3	4	5	6

换向片片装和换向器装配时的烘压压力 P_1（N）和 P_2（N）分别是指施加于叠压工具压模和换向器压圈平面上的轴向力（见图2-32和图2-33），其值由下式计算：

$$P_1 = 11.1 \times 2\pi F_1 p_1 \mathrm{tg}(\alpha + p)$$

式中 F_1——换向片的侧面积（铣槽部分不计入）（cm^2）；

p_1——片装时的单位片间压力。牵引电机常用40~60MPa；

α——叠压工具的锥度角，一般用5°；

p——叠压工具的摩擦角，常用15°。

$$p_2 = 25F_2p_2$$

式中 F_2——换向片组加工V形槽后的侧面积（铣槽部分不计）（cm^2）；

p_2——器装时的单位片间压力。牵引电机常用20~40MPa。

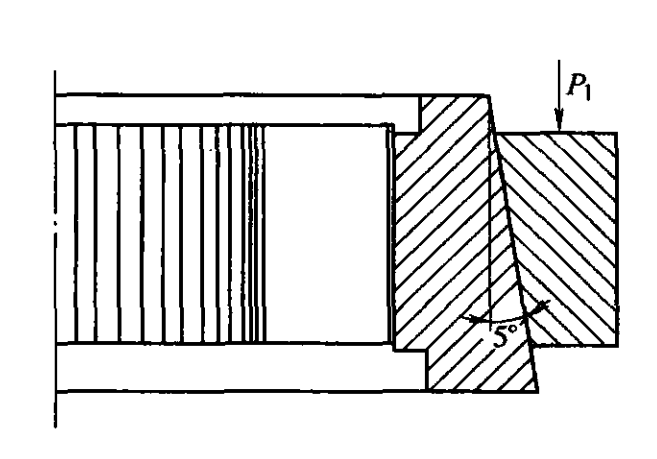




图 2-32　换向器片装加压示意

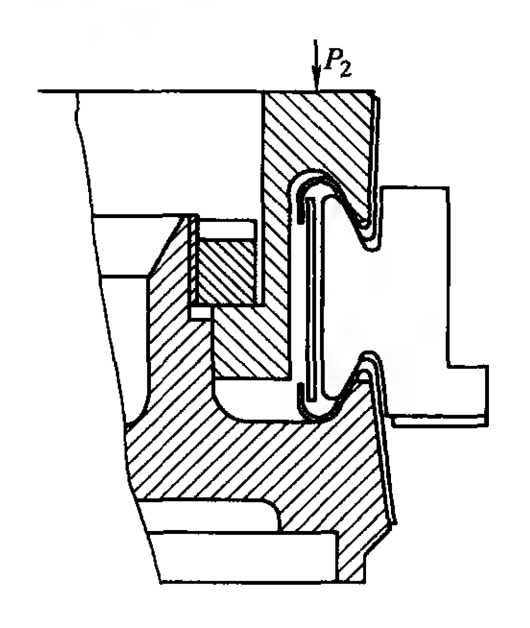


图 2-33　换向器装配加压示意

对于片数较多，云母片较厚的换向器，p_1 和 p_2 取上限值，故可取 $p_1=60$，$p_2=40$，代入 P_1 和 P_2 可简化为下式：

$$P_1=1.53F_1(t)$$

$$P_2=F_2(t)$$

其中 F_1 和 F_2 可根据铜片侧面积尺寸分块计算出，也可在 1∶1 的实际图形中近似地量出，如图 2-34 所示。

7）最后检查换向器的片间及对地耐压，确无故障时即可压入电枢铁心并嵌线。

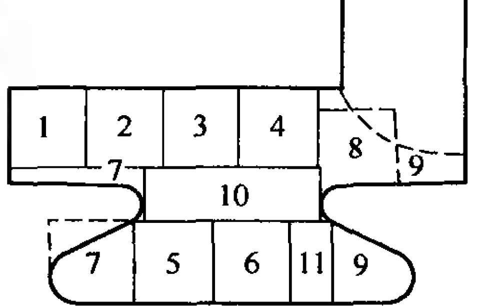


图 2-34　根据换向片净侧面积求器装压力

（2）换向器凸片的修理　换向器产生凸片原因是片间云母板和塑型云母板在运行过程中，受冷热环境及机械应力的多次反复作用而继续排胶收缩，导致换向器松动变形。修理时，如简单地将凸片的换向器表面车削，则一经运行，很可能再次发生凸片。为此应先烘焙电枢（温度和时间同换向器装配），然后热压和冷压各一次，可比换向器装配时的计算压力提高 10% ~20%，同时扳紧换向器螺母（或螺栓），最后才允许加工换向器表面。此时应注意换向器工作面与电枢两端轴承档的同心，特别在修理时，应首先检查两端中心孔有无损坏，以中心孔定位时两端轴承档的偏摆情况，如无问题，才允许用两端中心孔定位来车削换向器。

（3）V 形环的压制　V 形环是换向器中的主要部件。B 级绝缘的牵引电机，大多用 5231 虫胶塑型云母板压制而成，其特点是耐电弧的能力强，绝缘性能可靠，因此适用于较高电压的电机，其缺点是在运行过程中易挤胶滑片而导致换向器变形，所以机械稳定性稍差。用环氧酚醛玻璃坯布热压而成的 V 形环，具有成本低工艺简单，机械稳定性好，耐溶剂性强等优点，但耐电弧能力差，仅适用于 250V 以下较低电压等级的牵引电机。

1）V形环的主要质量要求

①30°面上紧密均匀，圆弧处光滑，无裂纹和分层现象，扇形料搭接处应均匀，无间隙和多余重叠。

②厚度均匀并符合图纸要求，在灯光下照射，各处透亮均匀。

③外表清理后用金属杆支持，以手指弹击时，响声清脆坚实，无脱壳分层。

2）V形环压模（见图2-35） 由上模1、压圈2、下模3和模心4四个零件组成，在上下模合模以后拧紧压圈上的螺钉，即能自行保持压力。脱模时，先拧松压圈螺钉，拆下压圈2，然后可在上模的下平面垫上套筒，使下模的下平面脱空，并用木锤轻击下模的上平面，即可将下模脱下，再轻击模心的两侧面，则可很方便地脱下模心。然后继续垫高下模的下底面，用脱模圈5即可将压制成型的云母环脱离上模，完成了全部脱模工序。

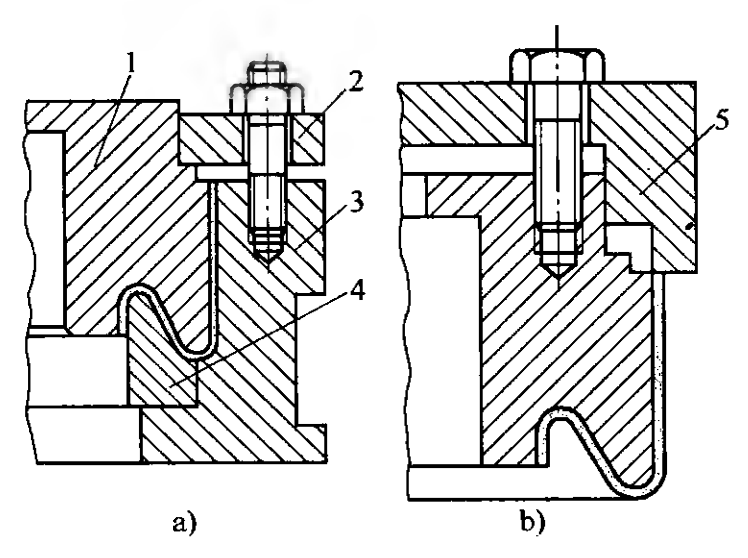


图2-35 V形环压模

a）V形环压模结构图 b）V形环脱模结构图

1—上模 2—压圈 3—下模 4—模心 5—脱模圈

3）V形环压制工艺要点

①扇形云母板尺寸确定 在换向器修理时，确定扇形片尺寸最简便的方法是将损坏的V形环加温或稀释，使之软化后铺平，照原样划制，这种办法最有把握。也可用经验计算法，其中，扇形片的总宽度H等于V形环的展开长，即$H=a+b+c$，扇形片的内弧处必须有切口，以使弯曲时内弧处不致材料重迭，切口处由b和c两部分组成，切口总高$h=b+c$，切口宽度$d=\frac{\pi(D_1-D_2)}{n}$，其中n为整圆的切口数，由表2-32中选定。

表2-32 扇形片切口数与V形环直径的关系

V形环直径/mm	≤60	>60~90	>90~130	>130~170	>170~220	>220~280	>280~400	>400
n	8	10	16	20	26	32	40	48

图 2-36、图 2-37 示出 V 形环和扇形片的形状尺寸。

随 V 形环直径的增大，每一圆周所用的扇形片数也不同，300mm 以下时采用二片，V 形环外圆达 400mm 以上时，采用四片。应注意将每一层之间的接缝处错开，以增大漏电距离，如图 2-37 所示。

②脱模剂　不管是用 5231 塑型云母板还是环氧酚醛上胶坯布制造 V 形环，其脱模剂都可用经用苯稀释的硅橡胶，配方为：

硅橡胶: 甲苯 = 20: 100（重量比）

③将扇形片剪好后，应在塑型云母板表面涂刷一层虫胶漆，并自然晾干，虫胶漆的调制为 1kg 酒精中溶解 300g 虫胶。

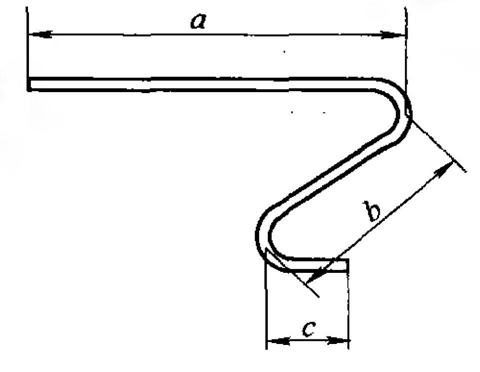


图 2-36　V 形环形状和尺寸

④可用一张薄纸剪成扇形片的形状和尺寸，然后在云母环压模的下模中试弯，将切口的齿部向 V 形槽内弯折，纸样应不重叠和不漏缝为好，否则应将齿部切口尺寸进行修正。

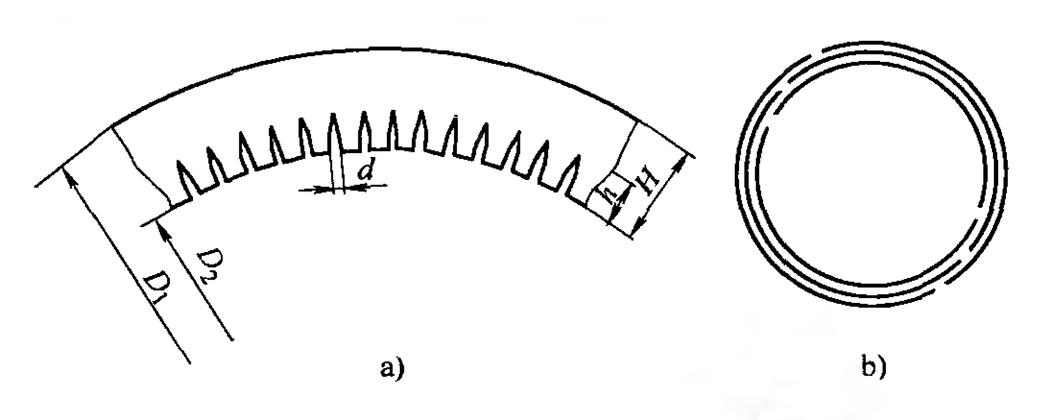


图 2-37　扇形片的形状和尺寸及各层扇形片接缝错开示意图

⑤通过计算和试压决定层数 m：设 t 为 V 形环要求的厚度，t_c 为云母板或上胶坯布每层厚度，则

$$m = \frac{Kt}{t_c}$$

式中　K 为压缩率修正系数，对 5231 云母板，取 $K = 1.2$；对环氧酚醛上胶坯布，$K = 1.4 \sim 1.6$，实际压制时，坯布厚度一般为 0.16 ~ 0.17mm，则当 V 形环厚度为 1.5 和 2mm 时，分别用 14 和 18 层。

⑥环氧酚醛玻璃上胶坯布的存放期较短，还必须低温保管，否则较易发生固化脆裂而失去粘性，因此也可用 0.1mm 厚的无碱玻璃布待使用时再自行上胶。其大致过程是将玻璃布剪成条料后放入 240℃ 的烘炉中 45min，以先行脱脂处理，然后以 634 环氧树脂 70%，3201 酚醛清漆 30% 的比例，再用甲苯和酒精 1 : 1 的比例进行稀释至固体含量 50% 左右为宜，即为配制的胶，然后将脱脂过的玻璃布浸入胶液中 3 ~ 5min，以浸透为好。然后取出拉直晾干后放入 80℃ 的烘房中烘 1h，达到不粘手并能划线剪料方便的半干状态。时间不可过长，以防坯布完全固化。

4）V形云母环压制工艺过程

①将每组扇形片（层数为 m）的每层接口错开2～3mm，按齿尖朝下的方向弯成圆筒形（插入下模的内圆），注意每组每层的接口处应尽量密合，然后用白布带扎紧成“环胚”。

②将“环胚”转套到120℃热态的上模外圆，待“环胚”受热软化后，即将切口齿部向上模的V形槽内弯折，同时用模压住，待冷却后取出即成“初胚”，此时已初步预弯成型。

③热压模的压制表面上刷脱模剂并放一张玻璃纸（模温150℃±5℃），放好“初胚”后，以5t左右的压力进行初压。

④将已放置“初胚”的压模放入200℃烘炉中加热90min，使下模达到170～200℃，取出压模进行加压，其压力

$$Q=(D_1^2-D_2^2)\frac{\pi}{4}p$$

式中 p——单位压力，取25～30MPa。

⑤拧紧压圈螺栓进行保压，然后在风冷或常态下冷却至50℃以下即可进行脱模。

⑥割边清理并经试验合格后即可使用。割边工序亦可在热态的压模下进行较方便。

用环氧上胶布制作时，工艺操作基本相同，但热模温度可降低为80～100℃，第一次加压初步合模后的进烘温度为160℃即可，时间30min，单位压力 p 降为10～15MPa。

（4）换向器3°面处的密封　拱式换向器的3°面处总有一圈缝隙，为防止碳粉、潮气、金属屑及其他脏物由此进入换向器内部，造成片间短路和对地击穿，特别是牵引电动机，由于环境条件的恶劣，所以此缝隙处必须进行密封。换向器的紧固螺母或螺栓处，由于缝隙较小，密封后要再扳动就不方便，因此该处一般不进行密封，只是在矿井下使用的工矿牵引电动机，由于湿度太大，电机内部易进水，有时也进行密封。

3°面处的填封方法有环氧涂封，绝缘漆刷封及聚四氟乙烯薄膜带粘封等几种，见表2-33。

表2-33　换向器3°面密封的方法和工艺

项目 / 密封方法	简要工艺	注意事项	优缺点
环氧树脂涂封	1）环氧胶的配制：按环氧树脂100%、苯二甲酸二丁酯10%～15%之重量比例进行混合并搅拌均匀。也可用环氧树脂与650固化剂以1∶1的重量比混合，加微温搅拌均匀，如加入乙二胺可加快固化 2）将换向器3°密封处擦干净，用毛笔将环氧胶均匀涂封，应注意不应有漏涂、气泡和裂缝等缺陷，涂后自然干燥固化 3）玻璃丝带或玻璃丝绳应均匀扎包整个V形环的3°面的外露部分。玻璃丝带应扎紧，均匀光滑无皱折和空洞，边扎边刷环氧胶	乙二胺量不可加多并最好用化学纯试剂，否则易生成铜绿而发生片间短路和接地	密封较可靠但工艺麻烦，耐电弧性差，易脆裂

（续）

项　目 / 密封方法	简要工艺	注意事项	优缺点
绝缘漆刷封	1）用玻璃丝带或玻璃丝绳绑扎于V形环伸出部分的表面，边刷灰色耐电弧瓷漆 2）用玻璃丝带或绳塞紧入口处，再刷灰色耐弧瓷漆二次，使可靠地堵住入口缝隙	换向片组二侧近3°面处均要侧角，以便于塞紧	工艺简便，但表面粗糙易积灰。涂封处因冷热收缩可能产生裂缝
聚四氟乙烯带粘封	1）化学处理液的配制：将768g精萘放入3000ml的三口烧瓶中，然后加入1500ml的四氢呋喃，搅拌溶器。待精萘全部溶解后，加入金属钠，每次加切成小粒的钠35g，共加138g。控制反应的温度低于40℃，反应完成后，用60～80目的铜丝网过滤 2）聚四氟乙烯材料的表面处理，将萘钠处理液倒入处理槽内，然后把一面已用砂布打磨毛的聚四氟乙烯材料浸在处理液中约3min，取出后用开水清洗干净，晾干后即可使用，其打磨过的表面呈深棕色 3）利用聚四氟乙烯带有一定延伸率的性能，先把四氟带预制成L型，在换向器前端面车一圆环，其尺寸应正好把预制成的L形四氟带嵌入（图2-38），用环氧树脂和650聚酰胺为胶粘剂粘牢	四氟带的接缝应严密，为此应按正式拉力先试贴，端头重迭形成圆阁后，重迭部分剪开，把两端多余的带去掉，然后再进行粘胶。这种方法周长易控制，接缝处可密切贴合	表面光滑不易积灰，耐弧性很好，擦拭方便。L形覆盖后，换向器前端面根部处的缝隙也被遮住，密封彻底而可靠，但工艺较复杂

（5）V形云母环烧损后的修复　V形云母环的3°和30°面上有时会发生烧损，当烧损面积不大时，常采用修补方法进行修复使用，首先将烧损处的黑灰彻底清除干净，然后用填补材料填入，少量的可用环氧树脂或云母粉（用虫胶调成糊状），面积较大时用塑型云母板熨烫，同时加温加压。总之填补材料应设法与修复处形成一体，二面也可粘贴天然片云母或聚酰亚胺粘带，但不可高出二面的平面。

图2-38　换向器前端面用L型四氟带包封示意

4. 改善换向的方法

（1）换向器工作表面车削螺纹槽　试验表明，在换向器车削螺纹槽后可降低换向火花0.5～1级，特别对较大功率的高速牵引电机更为明显，此外，还可降低换向器表面温升5℃以上，车削螺纹槽后有利于碳粉的排除，从而提高换向的可靠性。车削螺纹槽的工艺要点：

①螺距为6～10mm，尽量使每块电刷长度内接触4～5个螺纹槽为好。国外的一些

铁道牵引电动机常采用每对 3 个螺纹槽。

②槽宽取为 1.2 ~ 2mm，以槽宽与螺距之比为 0.2 左右较好。

③槽深 1.2 ~ 1.5mm。

④转速及切屑量。电枢转速 15 ~ 25r/min，切削量起始为 0.1 ~ 0.15mm，最后精车 0.05mm，刀头两侧带圆角（使槽底两侧带 R）。

⑤下刻片间云母槽和槽口倒角　下刻深度要略大于螺纹槽深，倒角同正常工艺要求一样。

⑥精车换向器表面，最好能细于 R_a0.8，然后清理下刻槽及螺纹槽中的毛刺。

（2）中、小牵引电动机应尽量采用全额电刷　以往功率在 50 ~ 60kW 以下的主牵引电动机，几乎毫无例外地采用四极和二个刷握，视察窗盖位于电机的上方，以方便维护检修和更换电刷。刷握数少于磁极数，常称之“非全额电刷”。从理论分析和多年的实践均可证明，在采用非全额电刷后，被短路的换向元件为二只串联，从而增大了换向元件的匝数和电感，未补偿的电抗电势也增大了，从而使换向火花增大，换向器表面容易发黑，耐受过电压和电阻制动的能力差。特别是功率在 30kW 以上，电抗电势大于 1 ~ 1.5V 的中、小牵引电动机，影响较为明显。在电动机修理时，应尽量增加一对刷握而变成“全额电刷”。但此时应注意以下几个问题：首先固定好刷架，应注意等分，固定要牢固可靠；其次同极性刷架间应用电缆连接起来；为了更换电刷和维护的方便，机座下方应开设视察窗并加盖，如有可能增加旋转刷架圈，则下部电刷可转到上方窗口更换。在有地沟的矿山现场，从下方视察窗维护和更换电刷，就更显得方便。

（3）消除各种机械火花产生的原因　换向器产生火花的故障原因和故障现象见表 2-34。

表 2-34　换向器故障原因和故障现象

序号	故障原因＼故障现象	电刷滑出端火花	电刷滑入端火花	绿色针状火花	换向器表面对称烧伤	空载火花	刷架火花不均	环火	换向器过热	电刷与刷盒过热	刷尾过热	换向器表面烧黑	换向器表面无氧化膜	换向器不对称烧伤	电刷振动噪声	电刷碎裂掉边缺角	电刷沿换向器外圆有火苗	电刷磨损快	电刷磨损不均匀	电刷表面镀铜	换向器表面有条纹
1	换向极气隙不均	✓	✓		✓	✓	✓												✓	✓	
2	云母片突出	✓				✓		✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
3	换向片凸出或凹下	✓		✓		✓		✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓				
4	换向器偏心	✓										✓		✓	✓		✓		✓	✓	✓
5	电刷刷距不均	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓						✓		✓	✓	
6	电刷在刷握中晃动	✓	✓						✓	✓			✓		✓	✓			✓		
7	电刷在刷握内随动性差	✓	✓		✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓
8	电刷压力太大				✓				✓	✓								✓			✓

（续）

序号	故障现象 / 故障原因	电刷滑出端火花	电刷滑入端火花	绿色针状火花	换向器表面对称烧伤	空载火花	刷架火花不均	环火	换向器过热	电刷与刷盒过热	刷尾过热	换向器表面烧黑	换向器表面无氧化膜	换向器不对称烧伤	电刷振动噪声	电刷碎裂掉边缺角	电刷沿换向器外圆有火苗	电刷磨损快	电刷磨损不均匀	电刷表面镀铜	换向器表面有条纹
9	电刷压力太小	✓			✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓	✓
10	电刷牌号不合适	✓			✓				✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓		✓	
11	电刷接触面小	✓	✓	✓					✓										✓		✓
12	刷盒离换向器表面高	✓	✓		✓				✓	✓			✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
13	定子极距不等	✓	✓	✓	✓		✓														
14	换向器表面油污					✓							✓					✓	✓	✓	✓
15	空气灰尘大												✓					✓			✓
16	电动机振动大	✓	✓			✓						✓	✓				✓				

注：✓表示由此故障原因引起的故障现象。

电动机在运行时火花的产生，机械方面的原因也是很常见的，尤其是牵引电动机，因为它在运行中受到很大的振动。机械火花的产生，主要是电刷和换向器接触不稳定或者是工艺装配不符合要求所引起的。机械原因可归结为两类，

1）换向器及电动机旋转部分的缺点

①换向片凸出或者片间云母凸出；

②换向器工作面偏心；

③在运行中换向器工作面变形，如呈椭圆形、腰鼓形或锥体形；

④动平衡不好或电动机组装质量不良；

⑤换向器表面有斑痕、毛刺及拉伤的沟纹。

2）电刷装置的缺点

①电刷接触面研磨得不光滑，电刷接触不好或仅有局部接触；

②电刷在刷盒中太松或太紧，使电刷的随动性不好，造成电刷跳动、倾斜甚至卡死电刷；

③电刷上压力不合适；

④刷握装置不稳固。

发生火花是直流电动机换向不良的直接表现，如果火花在电刷上范围不大，亮度微弱，呈浅蓝色，目测火花等级在 $1\sim1\frac{1}{2}$级，它对电动机运行并无危害。但如火花在电刷上范围较大，比较明亮，呈白色或红色，火花等级在 2 级或以上时，则对电动机运行

就有危害。程度强烈的火花，将使电刷和换向器表面很快烧损，使电动机不能正常工作。

为保证牵引电动机运行时不出现强烈的机械火花，在其工艺技术要求和检修维护规则中，对影响换向的机械量都有相应的规定，表2-35列出对ZQ-650-1型脉流牵引电动机的机械限度值。

表2-35 ZQ-650-1换向器机械限度值

名 称	工艺技术要求	维护使用限度
个别换向片凸片产生的跳量/mm	0.04	0.05
换向器椭圆度/mm	0.04	0.05
电刷接触面积(%)	>80	缺损不大于10
电刷压力/N	38~42	38~42
电刷与刷盒内缘的间隙轴向圆周方向/mm	0.13~0.40 0.05~0.2	0.26~0.8 0.05~0.2
云母沟槽深度/mm	1.0~1.5	1.0~1.5

为了保持换向器和电刷工作状态完好，经常的维护保养也很重要，换向器表面不洁时，应该用汽油擦拭干净，表面受损不光时，需用细砂布打光，必要时精车换向器表面。

（4）换向器表面粗糙度 待修的牵引电动机换向器的表面状态一般都较差。如磨后的凹痕、烧黑的斑迹、油污炭灰等，在重新烘压和加工换向器时，常用下列方法。

1）车削法 应在精度高和振动小的车床上进行，如某厂采用高精度的液压尾座，顶尖的跳动仅为0.005mm以下，换向器表面粗糙度细于R_a0.8，如配合使用金刚石车刀，则粗糙度可细于R_a0.4。常用硬质合金YA6、YG8等刀具进行粗车，切削线速度应小于每分钟150m，然后再更换精车刀，线速度为每分钟250m左右，切削量应小于0.1mm。采用金刚石刀精车时，由于其硬度高、导热快、摩擦系数小，粗糙度细于R_a0.4。用金刚石刀切削时的铜屑呈针状，换向器外圆无粘铜屑现象。云母下刻槽内无铜屑，换向片倒角处无毛刺，并能提高换向片的表面硬度，改善电动机的换向。用金刚石车刀车削ZQDR-204牵引电动机换向器时的工艺参数如下：吃刀量0.08~0.12mm，走刀量0.08mm/r，车头转速92r/min。由于刃口的磨损极小，车削的换向器表面不会有圆锥度，每刃磨一次，可加工几百只换向器。

实际运行证明，换向器表面粗糙度达R_a0.8及以上时，表面易生成完整的氧化膜，从而有利于换向和减小运行火花。修理时由于条件所限，但也应不低于R_a1.6。

2）滚压加工 在车床上利用滚动面对换向器表面进行滚压，实际上是一种冷压加工，它用向心球轴承做滚头。滚头后的杆部装有压力指针和压力弹簧，用以调节压力，最后拧紧固定螺栓，使连接滚头的轴杆固定住。

滚压前用YA6车刀或金刚石车刀精车换向器表面，再经滚压后粗糙度可达R_a0.4

以上。

一般经冷拉制成的纯铜梯形铜排，HB 在 85 以上，经加工成型特别是在升高片焊头时铜片退火等原因，实际 HB 只在 60 ~ 75 之间，使换向器不耐磨，经滚压加工后，HB 可上升到 90 以上，因此可延长换向器的使用寿命。

向心球轴承式的滚头，使用数次后，球轴承内的轴销磨损较快，影响滚压的精度。改进的结构中增加一个圆锥滚子轴承，径向间隙可以通过调整套调整。另外，为减小滚压时的侧压力，尽量使云母槽棱角处呈圆弧状，可以采用双滚头或双向对称滚压。

采用高硬度和高粗糙度的工具，在滚动中冷挤压工件表面，使其产生塑变，可以得到$\sqrt{1.6}$以上的表面粗糙度及 HB90 以上的表面硬度，这是挤压工艺的突出优点。它也有严重的缺点，由于径向挤压力大，换向器易产生凸片变形，同时使换向片槽口的两侧被压低，使换向器表面的圆柱形被破坏，工作表面的几何精度降低。

提高换向器表面粗糙度，是大家一致公认的对换向器工作表面加工的基本要求，它有利于建立正常的换向器表面氧化膜，有利于提高换向器与电刷接触的平稳性，有利于降低电刷的磨耗量，有利于降低换向器与电刷摩擦的发热和功率损耗，有利于提高接触的平稳性和降低机械火花，综上所述，提高直流电动机换向器表面粗糙度，是提高电动机质量，保证电动机可靠运行的重要措施。

除了对换向器表面采用滚压加工以提高其表面粗糙度的方法处，还可采用在外圆磨床上磨削的办法，用煤油作溶剂进行冷却和去屑，但操作非常困难，砂轮颗粒嵌入换向片槽内清理麻烦，煤油渗入电枢线圈内是有弊无利，因此也不宜普遍应用。采用全静压尾座可大幅提高换向器表面的粗糙度，它在轴向和径向均采用液体静压支承的高精度新型尾座，外圆几何精度的垂直直径差由 0.02mm 提高到 0.0056mm，完全达到了以车代磨的粗糙度及精度要求，这对牵引电动机制造厂有推广意义。

十一、刷握装置故障及修理

1. 对刷握装置的主要技术要求

刷握装置的主要功能：

1）牢固地把电刷固定在中性位置上。

2）给电刷施加适当的压力，保持与换向器有良好的接触。

3）把带电零件与对地之间可靠地绝缘开。

因此，对其要求是：

1）通过刷握装置，使电刷位置可靠地固定，同时要求能在三个方向调节：

①电刷沿换向器工作面圆的切线方向应能调节，使电刷处于中性位置后再良好地固定，调节时以火花和两方向的转速均最佳为好。

②电刷在换向器工作面上轴向位置的调节和固定。电刷边缘距离换向器升高片应有 5 ~ 8mm，刷盒壁厚一般为 3 ~ 4mm，除应考虑轴向各零件的公差积累外，还应将可能产生的电枢轴向窜动量计算在内。

③刷盒底面离换向器工作面的距离应可调节，使保持为 2 ~ 4mm。

2）刷握装置中通过弹簧的变形，向电刷施加一定的压力，为了保证在冲击振动下

电刷与换向器间有良好的接触，应维持电刷单位面积上的压力不小于0.04～0.045MPa。对弹性悬挂的牵引电动机，各块电刷上的压力应均匀，相差不得超过10%，且从新电刷磨耗到允许极限的范围内，压力的变化不超过20%。恒压刷握中的恒力弹簧，在整个工作区域内，压力的变化仅在7%以下，这种新型的刷把结构正在牵引电机领域中得到越来越多的应用。

3）要求把刷盒、电刷等带电部件与地之间可靠绝缘，这依靠刷杆来完成，刷杆除了作为绝缘部件外，还兼作支持刷握的结构件，因此又要求它能承受整个刷握体的重量及在冲击振动下不损坏。

4）刷握装置的各零部件，应尽量体积小，重量轻，使在受冲击振动时的动力作用小，但同时应具有足够的机械强度和刚度。

5）同一台电机上的各刷架，刷盒之间必须保证等分，如装在一个刷架座圈上时，转动刷架座圈，就可很方便地调整电刷到物理中性线上。

6）要求刷握装置结构简单，容易拆换易损零件和更换电刷。

2. 刷架圈结构的改进

我国铁道牵引电动机刷握系统的传统结构是采用刷架圈，四只刷握用螺栓固定于刷架圈上，这样可以转动刷架圈来更换电刷和维护刷握，同时转动刷架圈，使刷握转动到更为理想的电气中性线位置，使在整个负荷使用范围内，正向和反向的转速差值减至最小，以弥补由于制造工艺不理想所造成的正、负转速的偏差。刷架圈在缺口处被双头螺栓撑开，紧固在机座（或前端盖）里，但由于刷架圈与机座（或前端盖）的摩擦阻力不足，或由于双头螺栓螺纹的自锁能力不足，其结果是可能产生撑紧螺栓松转和刷架圈松动。目前的改进结构中选用低碳软钢材质刷架圈并进行退火热处理工艺。双头螺栓采用较大外径的细牙螺纹，用带蝶形弹簧的并紧螺母，并在径向采用圆柱插销的定位件结构，以上措施的采用，有效地制止了刷架圈松动而造成换向器环火的恶性故障。

3. 中小牵引电动机刷杆的常见故障及防止

图2-39为中、小型牵引电动机中最常见的刷杆结构及其支持形式。

（1）焊接式刷杆　在早期的中、小牵引电动机中应用较多，其结构特点是简单和牢固。缺点是位置不能调整，焊接不良时会脱落而烧损换向器。防止脱落的措施是：

1）支座长度必须足够，应略伸出机座的凹坑底，使焊接时能和机座熔结成一体。

2）机座体不要过薄，确保有足够长度的圆柱配合面，当刷杆承受较大的外力冲击时，焊缝处不至受到过大的弯矩。

（2）环氧浇铸刷杆

如图，杆和筒体间用环氧树脂浇铸绝缘，表面套瓷瓶。环氧浇铸刷杆的常见故障是易产生裂纹和由于表面不光洁而积灰，直至电气击穿，套装瓷瓶的目的就是为改善这一缺点。

过去，浇铸环氧树脂刷杆时，采用间苯二胺作固化剂，苯二甲酸二丁脂作增塑剂，石英粉作填充剂。工件浇铸后放入烘炉中烘焙固化。这种配方的缺点是操作时气味浓，易开裂造成废品。现已改用新配方，成分比例为环氧树脂（E-44）100；H-4环氧漆固

化剂 70；石英粉 30。浇铸工艺过程：

1）用甲苯或酒精清洗零件浇铸面的锈斑。

2）将刷杆、筒体及瓷瓶放在夹具中夹紧。

3）称取所需用量的环氧树脂，加热至（40～50℃）熔化，然后按配方比例依次加入干燥的石英粉和 H-4 环氧漆固化剂，每加一种材料后，均需搅拌均匀。

4）将配料倒入刷杆料腔，并清除表面气泡。

5）工件在室温下固化。固化时间和温度是 10～20℃，12h；25～35℃，8h。

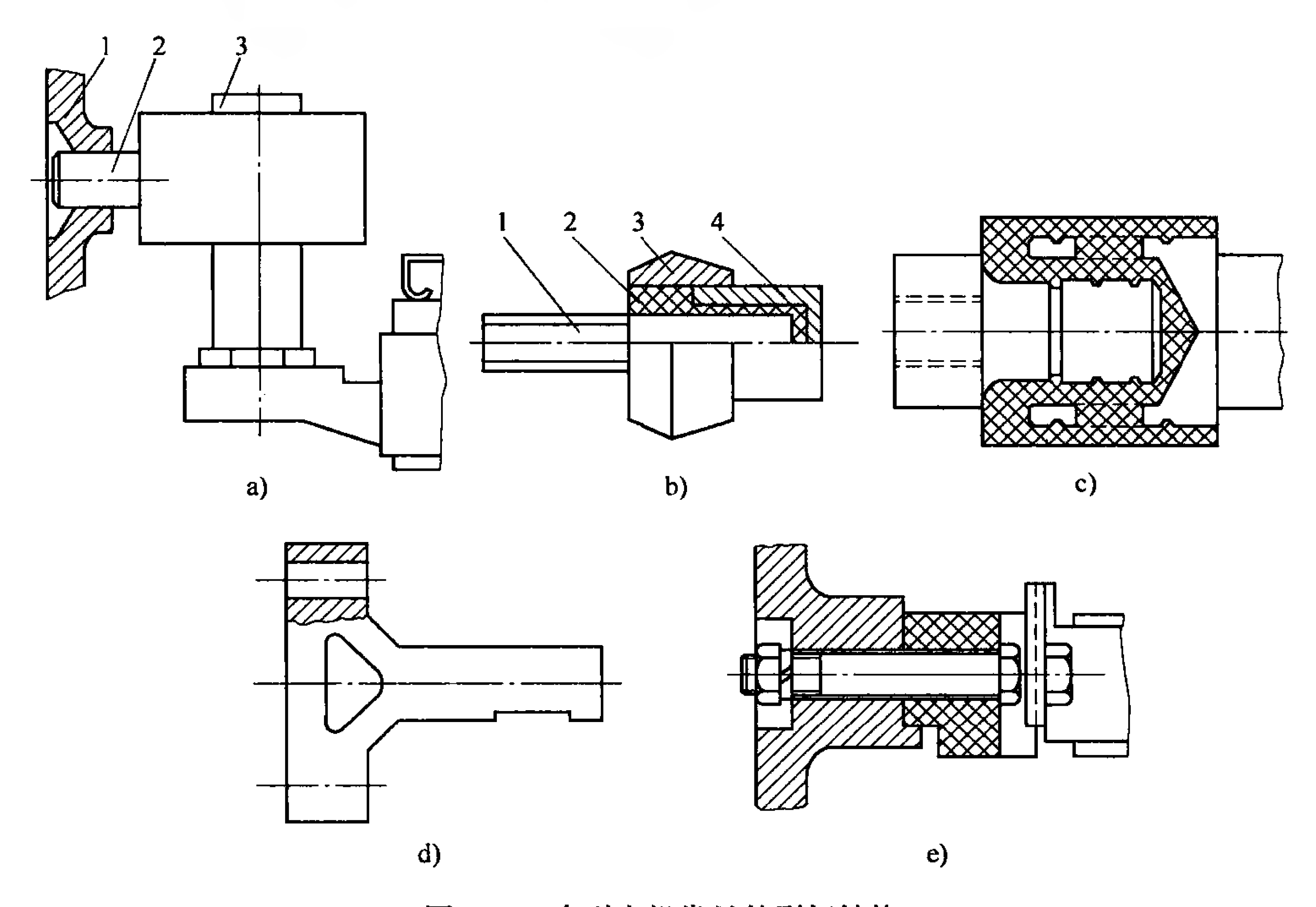


图 2-39　牵引电机常见的刷杆结构

a）焊接式刷杆结构　1—机座　2—支座　3—刷杆

b）环氧树脂刷杆结构　1—刷杆　2—环氧树脂　3—瓷瓶　4—钢筒体

c）玻璃钢刷杆结构　d）全塑玻璃钢刷杆结构　e）玻璃钢旋转刷架圈结构

（3）玻璃钢刷杆

其组合形式大致和环氧刷杆相同，只是两端钢件间用玻璃纤维压塑料压制而成。d）为全塑玻璃钢刷杆结构，其形状为 T 字形，底部有孔，能固定于端盖或机座上，杆部有固定刷盒用的凹槽，这种刷杆为无切屑加工，绝缘强度也很好。

图 2-39e 为采用玻璃钢旋转刷架圈的结构，它同时使刷握带电部分和端盖之间绝缘。

用玻璃纤维织物浸渍树脂后层压或缠绕固化而成的塑料称为玻璃钢，它的机械强度往往能达到和超过一般有色金属，并具有重量轻、加工成型简单、耐腐蚀等优点。

在中、小型牵引电机中，已采用玻璃钢材料制成换向器、刷杆、刷盒、刷架圈、接线板等零件。塑料换向器在普通系列直流电机中早已大量使用，由于牵引电动机工作条件的恶劣，目前应用还不多，实践证明在较低电压级的直流牵引电动机上（250V 以下）是适用的。刷杆和刷盒由于受动力冲击作用较大，因此要求它有足够的强度和刚性；由于它离换向器很近，易受换向火花和飞弧的影响，同时又要求有良好的耐电弧性。D541 和 PMF 玻璃纤维压塑料的耐电弧性很高，同时还具有良好的马丁耐热性，优良的机械性能和电气绝缘性能，具有良好的耐磨性、耐湿热、耐霉菌、耐水和耐酸碱性，因此它是牵引电动机上较理想和适用的玻璃纤维压塑料。目前常用的玻璃纤维压塑料的种类和性能见表 2-36 压制工艺参数见表 2-37。

表 2-36　常用玻璃纤维压塑料性能和种类

性能单位 \ 压塑料	酚醛玻璃纤维压塑料 4330-2(351-2)	聚胺-酰亚胺玻璃纤维压塑料 D541	三聚氰胺甲醛玻璃纤维压塑料 5350	PMF 苯酚改性三聚氰胺压塑料
密度/(g/cm³)	1.78(1.7～1.8)	1.95	2	1.8～1.9
吸水率/gdm⁻³%	0.05(0.05)	0.015	0.1	0.03～0.05
马丁耐热/℃	200(280)	>300	160	180～200
抗张强度/MPa	500	—	—	—
抗压强度/MPa	(130)	—	—	—
抗弯强度/MPa	(180)	>80	80	100～190
抗冲击强度/MPa	(8)	>	35	20～35
击穿强度/(kV/mm)	13(13)	14.7	8	12～14
耐电弧性/s	<150	>190	185～190	>190
体积电阻系数/Ω·cm	10^{12}(10^{12})	10^{11}	—	10^{12}～10^{18}
表面电阻系数/Ω·cm	≮10^{12}	—	—	10^{12}～10^{18}

表 2-37　玻璃纤维压塑料压制工艺参数

牌号 \ 性能	密度/(g/cm³)	压制模温/℃	单位面积压力/(kgf/cm²)	压制时间/(min/mm)	预热条件	后处理	脱模剂
4330-2	1.78	130～160	250～300	2	130℃，10min 以上	刷 B 级漆后在 130℃下烘 4～6h	高温润滑脂
D541	1.95	220～230	150～250	3	180℃，10min 以上	200℃ ±5℃，6～8h	甲基硅油

（续）

性能 牌号	密度/(g/cm³)	压制模温/℃	单位面积压力/(kgf/cm²)	压制时间/(min/mm)	预热条件	后处理	脱模剂
5350	2.0	130～160	250～300	2	130℃，10min 以上	刷 B 级漆后在 130℃下烘 4～6h	高温润滑脂
PMF	1.8～1.9	160	350	1～2	95℃，5～10min	刷 B 级漆后在 130℃下烘 4～6h	高温润滑脂

中、大型牵引电动机的玻璃钢刷杆表面，为增强抗漏电性能，防止积灰造成放电击穿，可用壁厚为 2～3mm 的聚四氟乙烯套管紧配在刷杆体的外圆柱表面，但是通过实践证明，在两端及两者之间的缝隙中仍有炭粉等渗入，因此目前有用玻璃纤维压塑料和聚四氟乙烯一次压制成型的，这种结构消除了绝缘件之间的缝隙，有效地防止了积灰击穿的故障。有些玻璃钢刷杆的外表面具有波纹状或带有大的凸缘边，均可起到加长爬电距离的作用。

4. 刷握装置的常见故障和修理（表 2-38）

表 2-38　刷握装置常见故障、原因和修理

故　障	原　因	修　理
电刷碎裂火花变大	1）刷盒底平面与换向器工作面间距离太大 2）刷盒变形或方孔变形使电刷与换向器不垂直，双向运转时碰撞电刷	1）铁道牵引电动机一般为 2～4mm，中小牵引电动机取下限值。国外牵引电动机间隙公差较小，一般只有 ±0.4mm 2）更换新刷盒或松开紧固螺栓后调整刷盒位置
电刷正、反转出现两个磨合面	方孔加工不好或变形，磨损或有斜度	换新刷盒或配用适当公差值的刷盒
电刷跳动，换向火花大	1）换向器凸片变形，或磨损后凹陷太大 2）片间云母高出换向器工作表面 3）换向器工作表面有铜刺和尖棱 4）电刷压力太小，使单位面积上的压力不够	1）见前 2）重新下刻云母槽 3）清除铜刺尖棱并重新倒角 4）由于刷握各部件制造尺寸公差的累积及弹簧变形量等原因，电刷压力不均匀达 ±20% 以上，造成电刷电流分配不均，使换向火花增大。此时必须调整弹簧压力或更换弹簧

（续）

故　障	原　因	修　理
电刷磨损过快	1）换向器粗糙度差或表面发黑烧伤 2）电刷选型不当或更换电刷时未用原型号电刷 3）工作环境太干燥或湿度太大	1）重新车削工作表面并清理倒角 2）按使用说明书要求选用电刷 3）改善工作环境或更换适用的电刷型号
电刷在刷盒内卡死	1）刷辫线太短，当电刷磨损太多时，刷辫线拉住电刷使与换向器不接触 2）刷盒方孔变形使电刷在某些角处卡死，特别是玻璃钢压制的刷盒热变形比电刷小得多 3）压堵卡住，未压到电刷	1）更换新电刷。平时应经常检查电刷磨损是否已超过限值 2）更换新刷盒，消除卡死现象 3）压堵各销轴关节尺寸配合选择不当或摩擦阻力太大，产生阻滞作用严重时压不到电刷，为此压堵各销轴关节可稍加润滑脂
弹簧断裂	1）恒压弹簧铆接不良或铆孔局部应力大 2）弹簧两端钩子用本身弹簧钢丝弯成，弯折处常有加工应力及轧痕，该处又是最大应力点所在 3）弹簧材料选择及防腐措施不当 4）弹簧表面生锈，弹簧张力减小，防锈处理不当，出现折断现象，热处理硬度过大	1）更换新恒压弹簧或重新铆接 2）两端钩子不用本身簧丝，改用钢片挂钩的结构，可从根本上消除弯折处弹簧断裂的故障 严格簧丝弯折制造工艺特别是两端头挂钩处 3）应用不锈弹簧钢丝加工最好，若用一般的弹簧钢，则表面应磷化和涂瓷漆处理，效果比发兰好 4）同3）条
刷杆对地击穿	1）塑料或环氧刷杆开裂积灰，导致爬电击穿 2）刷杆绝缘选材或压制不当 3）湿度过大，积油积灰严重	1）经常清除积灰，必要时改进和更换刷杆 2）绝缘材质要洁净，绝缘间距应足够 3）经常检查刷杆绝缘状态，并及时清理
刷盒烧损	1）换向器产生环火引起 2）刷架、刷杆脱落 3）电刷与换向器接触不好	1）消除环火的原因，如能选用锡青铜加工的刷盒，其主要性能均优于硅黄铜 2）重新焊牢，并紧固好 3）及时整修到良好接触面

十二、正确操纵工矿电机车

正确合理地按操纵规程要求使用电机车是提高机车及牵引电动机、电器寿命的重要条件，操纵时具体注意事项见表2-39。

表2-39　操纵工矿电机车时注意事项

操纵工况	注 意 事 项
起动过程中	（1）制动手柄必须放到缓解位才许起动，以免电动机过载 （2）起动手柄应退到零位后，才能合闸起动，并应平稳地逐步加速，在电动机电流未降到一定值之前．不要继续换挡，以免电流及力矩冲击过大 （3）不要长时间停留在串联电阻的起动级上，以免电阻过热和浪费电能 （4）发现车轮空转打滑，应迅速将司控调速手柄退到零位。切勿预防轮对空转，而在司机控制器手柄未退到零位前就进行制动，造成电动机过载 （5）如接触网电压过高或过低时，不宜起动机车，应等待电压恢复到规定范围内后再起动
调速和运行过程中	（1）注意在任何工况下，不得超过最大速度运行，以免旋转部件产生机械损伤 （2）发现电气仪表读数不正常或有异常声响或气味，应及时停车检查，不宜“带病”运行 （3）尽可能把调速手柄放在不串电阻的经济速度级上使用 （4）下坡行驶必须制动限速，不许落下受电弓听其惰行 （5）在高运行位置或大电流时，连续进行磁场削弱会造成大电流冲击，严重时会引起环火 （6）在切除部分牵引电动机后，仍长时间超载运行，使电动机绝缘加速老化，电动机换向恶化 （7）轮对发生空转，过大的离心力会引起换向器变形或凸片，产生很大的机械火花 （8）调速手柄未退到零位时，切勿将受电弓拉下或重新升上，以免产生很大的电流和牵引力的冲击
制动过程中	（1）调速手柄必须退到零位后，方可进行制动，以免造成电动机过载或烧损 （2）应严格按规定的最高制动速度以下使用电制动，因为过高的速度下投入电阻制动，会产生过高的制动电压和制动电流而烧损电动机 （3）禁止使用反接制动（即逆电流法）使电动机反转来制停机车。若在机车前进时，突然把手柄扳向后退位，改为反接，则将造成极大的电流冲击和过转矩，易使转轴断裂，打坏齿轮，甚至烧损电动机
反向及其他工况	（1）需反向运行时，必须先制停机车，然后才可扳动反向器手柄，再进行反向起动 （2）不要用电机车去拉出了轨的列车，以免电动机过载而烧损 （3）牵引电动机受潮后，应烘干后再用，以免击穿绝缘 （4）换向器发生环火后，必须进行仔细地检查和清理，以免故障扩大 （5）发现轴承窜油，要找出原因修好再用，以防油污降低绝缘，导致击穿 （6）抱轴瓦温度过高或漏油时，应及时检查修理，以免烧瓦和烧轴 （7）电刷磨到限度时，必须及时更换，以免烧损换向器

工矿电机车在运行中采用电阻制动，给列车的操纵运行带来了方便，但必须要正确地使用电阻制动，才能确保运行的安全。

在电阻制动时，对电动机的控制非常类似起动，初始阶段司机逐级切除电阻，调整电动机电路中的电流在某一给定的限度内变化，则平均制动力矩可视为近于常数。

电阻制动和空气制动、手制动一起作为常用的制动方式，被广泛采用，特别是在没有装设空气制动装置的井下小吨位架线式电机车及蓄电池机车上。但正如前所述，工矿电机车上设置电阻制动，主要用于在长坡道上滑行时的限速，需要限制的速度可参阅电阻制动曲线，在其他情况下，也必须按照机车操纵规程，有条件地正确使用，应尽量避免在高速下的制动及转换制动手柄的速度不宜太快。在很高的速度下进行制动时，所产生的制动电流和制动力，可能超过牵引电机所能承受的允许范围，同时产生很高的电压。如由牵引状态转入电阻制动时，为了要获得足够的制动力（通常比牵引状态下的牵引力大），必须保持足够大的制动电流和足够强的磁场，因此，在高速度下制动所产生的感应电动势将大大超过牵引电动机的额定电压。假设制动时的电流和磁通量保持与起动时相同（与额定时相同），则制动时的最大电压与额定电压之比，将近似地等于初始制动速度与额定速度之比。通常高速下制动时，速度比超过两倍，因此牵引电动机的电压也可以超过额定电压的两倍。此外在扳动电阻制动手柄时，应逐级转动，转换速度不宜太快，以防止由于串入过小的制动电阻而产生过大的制动电流和电压。

在所有工矿电机车的使用说明书或机车操纵注意事项中，均规定严禁使用反接制动，它是指当机车按一个方向运行时，突然将司机控制器的反向手柄扳到另一个运行方向而产生急剧的制动作用。在矿山实际操作中，除在为避免人身伤亡事故的紧急状态以外，明显而故意使用反接制动是很少见的，但不自觉地盲目使用的情况却并不少见。例如，当机车在一方向运行过程中并即将改变运行方向时，司机过早地提前将反向手柄扳到相反的方向，误认为这是及早做好准备且对机车运行无影响。另外在装矿或卸矿时，为使待装或待卸矿的矿车停准位置，司机频繁地扳动主手柄和反向手柄，使列车稍微前进或后退，这时，往往造成列车实际运行的方向和手柄位置相反，起到了反接制动的效果。

不论何型机车，在没有停稳以前，就将反向手柄打反，以后又随即提高手柄，这时由于外加电压和电动机的旋转方向都没有改变，但在反向手柄打反以后，电动机磁场绕组中，电流方向已改变，电动机磁极的极性改变，使电势方向改变，此时的反电势不再与外加电压方向相反而抵消，而是相同后相加，在同方向的外加电压和反电动势的共同作用下，电动机流过非常大的电流，对机车形成一个非常强烈的制动作用，过大的电流将使牵引电动机环火“放炮”，甚至烧毁。应该指出，由于牵引电动机的内电阻很小，即使在较低的主手柄挡位和低的运行速度下，也足以产生牵引电动机所无法允许的电流，足以烧毁电动机，因此，在正常运行状况下，反接制动是严禁使用的。

十三、受潮水淹工矿用牵引电动机的修复

在地下的矿井坑道内，水分和潮气都非常大，有的矿井相对湿度长期保持在95%~98%，实际的牵引电动机处于湿热带要求的环境中，更为严重的是，由于地震、地壳状态变动等原因，巷道内突然涨水，致使牵引电动机全部受淹，泡在水里，情况非常严

重。下面把修复的过程和主要经验介绍一下。

（1）修理前电动机的故障情况　牵引电动机的型号为 ZQ-21、ZQ-24 和 ZQ-52，待修电动机内部灌满了水，用绝缘电阻表（兆欧表）测定，几乎 100% 的定子及电枢的绝缘电阻均为零。电动机表面及抱轴部分沾满了煤灰及油污。电动机内部炭粉、油污等严重沾在主极、换向极线圈及电枢表面，电刷架生锈严重，零部件大多已锈蚀。还有少数是原来矿里停运修理的电动机，发现有对地击穿，短路冒烟及定子线圈极性接反等故障，一并混在受潮水淹的电动机中，需要去判别和修复。

（2）修理的简要过程　先将电动机拆开，用高压水将定子和电枢初步冲洗干净，油污多的抱轴壳、轴承盖等可用柴油洗净，必要时加热煮洗。冲洗干净的定子连同刷架一起置于 130℃ 的烘房里烘焙，逐只测量其热态绝缘电阻，大于 5MΩ 者可认为已基本烘干，然后打耐压，ZQ-21 为 1500V、ZQ-24 为 2100V 均 1min。对于已损坏的引出电缆线、定子连线、出线橡皮圈等需换新。对刷杆、刷架系统需拆下进行除锈清理，损坏严重者需换新，重新装配后须再次测定绝缘电阻。对于经水冲洗干净的电枢（油污、炭粉严重时须再用甲苯或汽油冲洗），置于 130℃ 的烘房中烘焙不少于 48h（烘时先将轴承拉下，热套的内圈可保留），然后逐只测量热态绝缘电阻，大于 3～4Ω 时，可认为已基本烘干。

对于烘焙后绝缘电阻不上升者，大部分是因为电枢中的水分没有充分排出和烘干所致（少部分是对地击穿的原因）。实践证明，受潮的电枢线圈经烘焙后，通常较易烘干，但换向器受潮后则较难烘干。此时，如何排出已渗入到换向器内部的水，成为修理的关键。采用的作法是先将换向器工作表面打钢丝箍箍紧，以保证换向器不会失圆变形，然后在压力下拧松换向器紧固的圆螺母，再进行烘干。若干小时后取出，在热态下用木榔头轻击打换向器压圈侧平面，使密封的 33°面上产生间隙，这时过热的水蒸气从 33°面上喷射而出，同时沸腾水沿着 33°面向下滴，这一过程称之为“滴水放气”，一般经两次滴水放气，就可将换向器内部的水分排干净，再烘焙 1～2 天，热态绝缘电阻即可回升到要求值以上。

烘干的电枢在半热态下进行耐压试验，合格后即可进行浸渍等下道工序。考虑到电枢浸水后 V 形环的云母已较松软，并且电枢已经过了较长时间的烘压，因此必须重新拧紧换向器螺母，以防止今后换向器不会松动失圆。

定子总装前线圈表面及机壳内壁喷灰色耐弧瓷漆，对易损件如刷盒、电刷、刷握弹簧、滚动轴承、尼龙轴瓦等需认真进行清理，必要时应予换新，然后即可进行总装及试验。

（3）经以上方案抢修后的牵引电动机都经过了逐台的出厂试验考核，试验标准见表 2-40。

据统计，共抢修 ZQ-24 电动机 55 台，一次校验合格率为 81.8%。修理的电动机，返修换向器失圆的 6 台，电枢冒烟的 1 台，定子极性接错的 2 台，开始试验时有环火的 1 台。失圆的电枢经重紧换向器螺母及车削换向器后已消除，定子极性接错是矿里返修时不注意引起的。

表 2-40　牵引电动机试验标准

试验项目	新电动机	抢修电动机
小时温升	定子线圈 140℃ 电枢 130℃	140℃(曾定 145℃) 130℃(曾定 135℃)
额定工况下正反方向转速及转差	±5%	±5%(曾定 ±6%)
额定及大电流换向试验	火花分别不大于 $1\frac{1}{2}$级和 2 级	同新电机(原定均不大于 2 级)
超速试验	1750r/min,2min	1750r/min,2min(曾定 1540r/min,2min)
匝间绝缘试验	715V,5min	660V,5min
各绕组的热态绝缘电阻	>0.55Ω	>0.55Ω
各绕组对地耐压	2100V,1min	1575V,1min(曾定 1050V/min)

经烘干的定子及电枢，其热态绝缘电阻值也较高，与正常产品实测比较见表 2-41。

表 2-41　经烘干的定子及电枢与正常产品热态电阻实测比较

名称	修理 55 台平均值	正常产品 79 台平均值
主极	215.2MΩ	57.6MΩ
附极—电枢	25.3MΩ	31.9MΩ

大电流时的换向火花，绝大部分均为 $1\frac{1}{4}$级，个别电动机也有 $1\frac{1}{2}$级和 2 级。实测的额定转速及正、反方向的转速差均在 600±5% 之内，电枢温升平均值为 89.7K，主极温升平均值为 126.5K，换向极绕组温升为 127.9K。

（4）修理中几个关键问题的讨论　根据对一批水淹后抢修的电动机的统计，受潮的电枢经烘燥后，约只有 40% 的电枢其绝缘电阻能上升，还有一半多因换向器内部有水而烘不干。牵引电动机在矿井下受淹时，水具有一定的压力，较易从换向器前、后端 33°面的间隙处及螺母紧固处侵入换向器内部，虽经烘干，水蒸气及热态水要排出仍不易，当温度下降后又冷凝成水，仍聚集在换向器内，即使加长烘的时间也是徒劳。在“滴水放气”之前，曾采用过真空加热干燥的方法，试图能烘干电枢，因为理论上讲，真空干燥的突出优点是能够彻底地排除绕组中的潮气和溶剂，经真空干燥后，被试 11 只电枢没有 1 只绝缘电阻上升的，由此可见，真空干燥法要抽出换向器内圈里的水也是无能为力的。

除用“滴水放气”方法以外，曾试验在换向器紧固螺母处钻 ϕ5mm 的通孔，以使热态水蒸气泄出，试验结果表明这种方法收效很慢，不及“滴水放气”效果好，这可能是云母环中的潮气不易排出的缘故。

要检验换向器是否受潮，换向器内是否有水，电枢上不用通电，用毫伏表两端分别

搭铜及铁（如换向器及轴上），如指针偏转则表示受潮有水，水越多则偏转越大，而且铜总是正极，铁总是负极，此法十分简便而可靠。

对于受潮的电动机，当电枢烘干以后，必须重新拧紧紧固换向器的螺母。因云母环受潮后，质地较松软，经几天烘燥后，片间云母中的挥发物已充分排出，换向片间的压力较低，如不拧紧螺母，则换向器很容易会产生失圆现象（个别换向片凸出或凹进），从而影响换向器的正常工作。拧紧螺母前，最好应将原定位用的紧定螺钉（防止螺母松动用）旋下或钻掉，当螺母扳紧到新位置后应重新钻定位孔并拧入紧定螺钉，这种作法较为可靠。

十四、直流牵引电动机的变规格运行

（1）提高牵引电动机的绝缘等级或加大风量使额定功率提高　当改变牵引电动机的通风量时，在保持相同温升限值的条件下，就可以得到不同的电流和额定功率，机车运行速度可以提高。例如将全封闭自冷式的牵引电动机改造成外强迫通风时，电流和功率一般可提高 60% ~ 80%。如 ZQDR-250 直流串励牵引电动机，其原型即为 GE-761A19，其持续制功率和电流为 292kW 和 645A，其外通风时的风量为 $69m^3/min$。现将风量提高为 $80m^3/min$，则此时的持续制功率和电流分别提高为 310kW 和 680A。又如提高牵引电动机的绝缘等级，相应提高了允许温升的限值，其额定电流可相应加大，额定功率也随之提高。如 ZQ-21 牵引电动机在 A 级绝缘时，小时制电流及功率分别为 95A 和 20.6kW，当提升为 B 级绝缘时，其小时制电流和功率可提高为 110A 和 23.8kW。又如城市无轨电车用 ZQ-60 型牵引电动机，绝缘等级由 B 级提高到 F 级后，功率可提高到 80kW。

（2）改变额定电压使额定功率、额定转速改变　额定电流及最大转速保持不变，以使电动机的发热及机械强度极限不会超过而使电动机损伤。因此，本方法不能使转矩或牵引力增大，但额定功率及额定转速相应得到提高。

（3）改变电枢绕组参数使额定电压改变　电动机的端电压近似等于其电枢反电动势 E。

$$U \approx E = \frac{pnN}{60a}\Phi \times 10^{-8}$$

$$N = 2N_c Q_a U_s$$

式中　p——电动机极对数；

n——电动机转速；

a——电枢绕组并联支路对数；

Φ——电动机的磁通量；

N——电枢绕组总导体数；

N_c——电枢绕组元件匝数；

Q_a——电枢槽数；

U_s——每槽换向片数或称虚槽数。

当 N_c 增大 1 倍时，总导体数 N 也增多 1 倍，如其他参数不变时，相应的反电动势

E 或端电压 U 也增加 1 倍。应用这一关系，可将额定电压为 250V 的牵引电动机改造为 550V。此时电压增加为原值 550/250 的 2.2 倍，如额定功率维持不变，则额定电流应减小 2.2 倍，磁通量 Φ 为原值的 1.1 倍，改造前后的功率、转速和转矩均不变，表 2-42 列出 ZQ-21 改压前后的数据。

表 2-42 ZQ-21 牵引电动机改压前后数据

序号	参数	250V 时数据	550V 时数据
1	小时功率/kW	20.6	20.6
2	小时电流/A	95	44
3	小时转速/r/min	600	600
4	电枢元件匝数/匝	2	4
5	主极绕组匝数/匝	54.5	120.5
6	换向绕组匝数/匝	39.5	74.5
7	电枢绕组线规/(mm×mm)	1.81×6.9	1.68×3.05
8	主极绕组线规/(mm×mm)	4.1×7.4	2.1×7.4
9	换向绕组线规/(mm×mm)	4.1×7.4	2.1×7.4

应用改变电枢绕组元件匝数来改变牵引电动机端电压的原理，在新 10t 架线式工矿电机车上，250V 和 550V 牵引电动机 ZQ30-3 和 ZQ30-4 上得到应用，在额定功率、额定转矩、额定转速、电枢直径、电枢槽数均不变动的前提下，通过改变电枢绕组元件匝数，设计出两种电压等级的电动机，并达到最大限度的通用，见表 2-43。

表 2-43 通过改变电枢绕组元件匝数设计出两种电压等级的电动机

序号	参数 \ 电动机型号	ZQ18-3	ZQ18-4	ZQ30-3	ZQ30-4
1	小时功率/kW	18	18	30	30
2	额定电压/V	250	550	250	550
3	小时电流/A	83	37.5	134	61
4	小时转速/(r/min)	1366	1366	1435	1435
5	最大转速/(r/min)	2732	2870	3014	3014
6	电枢直径/mm	245	245	245	245
7	电枢铁心长/mm	92	120	160	175
8	电枢槽数	41	41	41	41
9	换向器直径/mm	200	200	200	200
10	换向片数	123	123	123	123
11	梯形铜排尺寸	5.41×59×2°55′37″	5.41×59×2°55′37″	5.41×59×2°55′37″	5.41×59×2°55′37″
12	电枢绕组元件匝数	2	3	1	2
13	电枢导体尺寸/mm	1.8×5.0	1.25×2.65	1.45×7.1	1.4×4.25
14	电枢槽形	7.7×26.7	6.1×22.4	6.7×22.5	6.5×22.8

（4）改变电动机磁通调整转速 当电动机原设计磁路不饱和时，可以适当增加主极绕组匝数来增大磁势，从而提高磁通量 Φ，相应地反比例降低额定转速（此时电动机的额定转矩相应增大）。但此法受磁极绕组温升的限制，如定子布置有困难，可以提高绝缘等级以缩小线规。此外，此法还受磁路饱和的限制，高速运行时的输出功率将有所降低。本法不可能大幅度变速，一般为10%左右。

反之，当减少主极绕组匝数时，可以使磁通量减小，从而使电动机额定转速增高，相应地额定转矩成比例地减小。但因主极匝数越减少，磁路越近线性不饱和区，因而不受磁路及温升的限制。

如果增大主极气隙，可使额定转速增高，常用方法是把机座内孔或主极铁心外圆面车削掉一些；如相反地在主极铁心外圆面与机座间加垫钢片，使主极气隙减小，则由于磁组的减小而使磁通增大，从而降低了转速。

加长电枢铁心可以降低额定转速，提高转矩。反之减短电枢铁心，可以提高额定转速，降低转矩，此时如能把磁极铁心相应地增减，则更为合适。例如露天20t工矿电机车主牵引电动机ZQ-110，其主要规格为：110kW、750V、161A、1212r/min、电枢铁心长为286mm。后将其铁心加长到360mm，其功率、电压和电流都不变，额定转速降低为980r/min，转矩也相应增加，改造后的电动机型号为ZQ110-1，适用于近距离的城市电动客车作主牵引电动机。

十五、窄轨工矿用牵引电动机的世界水平

工矿电机车是用于煤炭、金属矿山和土建工程中，为减轻繁重的体力劳动，提高劳动生产率，实现运输作业现代化的重要设备之一。它的品种规格的完整性、质量的稳定可靠性以及技术上的先进性，直接关系到煤炭和金属矿山开采的成本和效率。所以，窄轨工矿电机车自问世至今，仍然是中小型矿山的主导运输设备，它相对于传送带运输和柴油机车的运输，有着非常显著的不可替代的优势。目前世界各国工矿牵引电动机领域里技术水平的现况和发展趋势主要有以下几方面。

1）由于直流串励牵引电动机起动性能好、调速范围广、过载能力强、功率利用充分以及调速简单等优点，一直广泛地用于架线式和蓄电池式的窄轨工矿电机车上。

2）为了提高牵引电动机工作的可靠性和使用寿命，世界各国在工矿牵引电动机领域里基本上淘汰了B级绝缘，普遍采用F、H级绝缘，并正在推广使用C级（即200级以上）绝缘材料。国际电工委员会已将它列入IEC 349—1991《铁路和道路用电力牵引旋转电机》文本中。另外还采用了无溶剂浸渍漆、真空压力浸渍（VPI）和旋转烘焙电枢等先进技术工艺。

3）为克服直流串励牵引电动机在结构上存在有换向器和电刷的致命缺点，随着电力电子技术和微电子技术的进步，采用调频调压（VVVF）逆变器，解决了异步电动机的调速问题，它结构简单使用可靠，因此在工矿牵引电动机领域正在开始替代直流串励牵引电动机。

4）异步牵引电动机除已采用所有电动机领域里已广泛使用的常规的手段、工艺和先进材料以外，还将导条与端环之间，采用优质专用铜合金材料中频整体感应焊接技

术，使用新型长寿命的合成润滑脂和绝缘轴承、定子无机壳化等先进材料和制造技术。

5）考虑到矿井或隧道内粉尘较大，有的工矿牵引电动机采用了全封闭的结构和设置有滤尘器的自通风式牵引电动机，即通过滤尘器的冷却风进入电动机内部，分为定子和转子间的空气隙和转子内部的轴向通风两部分冷却电动机后，由自通风风扇将热空气抽到电动机外部。国外最近还推出了一种不需要滤尘器的增压通风式结构的异步牵引电动机，它不像传统的带滤尘器的自通风电动机，而是冷却风空气从自通风风扇一侧下方进入电动机后，通过该端的自通风风扇，使冷却空气同样分两路冷却电动机内部，空气隙一路的冷却空气冷却定子绕组后，由机壳上方的孔洞吹出，而转子轴向通风的一路，则通过装在无端盖侧的小自通风风扇将热空气吹出。

6）直流牵引电动机通常采用双级齿轮传动方式。从近期的国外交流传动的窄轨工矿电机车来看，异步牵引电动机大多是按运行方向纵向布置在机车中心，通过万向轴与布置在轮对上方装有制动盘的传动装置相连。传动装置的齿轮已广泛采用感应淬火，它具有高效、节能、变形小和易于实现自动化等优点。

近三四十年来，虽然国外在直流串励牵引电动机领域进行了大量有效的工作，特别在绝缘材料和绝缘工艺，换向器合金铜排和严格的换向器制造工艺，以及采用优质高导磁冷轧硅钢片等方面，但在完善牵引电动机的进程上还有着明显的不足，因此笼型异步牵引电动机的试制和推广应用，已经明显得到加快，在不久的将来，它将彻底替代直流串励牵引电动机。

第三章　铁道干线用直（脉）流牵引电动机的修理

一、主要型号及规格

目前在我国铁道干线上，电传动内燃机车和交流电力机车用的直流和脉流的铁道干线牵引电动机共计约 14 万台。这些牵引电动机的试制和生产是随着机车的发展同步完成的，目前已拥有一支具有较高水平的牵引电动机研究设计、制造、运行和维修队伍。但是与国外发达国家相比，我国制造的牵引电动机的使用可靠性和寿命还有较大差距，故障率较高，牵引电动机 10 万 km 的落修率还在 0.5 件左右，而国际先进水平为 0.3 件以下。牵引电动机不解体的运行公里数即中修周期的目标为 80 ~ 100 万 km，而国际先进水平已稳定在 80 万 km 以上。

据铁道部有关部门统计，影响牵引电动机寿命的三大关键部件为滚动轴承、电枢绕组槽口绝缘和传动齿轮。滚动轴承烧损卡死，会造成动轮卡死事故，后果严重。铁道干线堵塞较长时间，从而影响铁道正常运行。电枢绕组槽口绝缘薄弱，成型下线过程中受到损伤，造成接地或匝间短路。绝缘电阻降低，不得不提前进行大修和绝缘处理。齿轮啮合不良是引起电动机振动的主因。当齿廓表面受损后，电动机抱轴部位的振动加速度高达 30g，可能引起系统发生共振，使牵引电动机出现环火、电动机连线断裂、炭刷弹簧断裂、机壳处止口松动、电枢后支架筋条断裂、刷架及刷架圈松动等一系列故障。

影响电动机落修率的三种故障为电动机环火、定子绕组接地及电动机引出线、连线断裂。该三种故障已成为牵引电动机的惯性故障，近些年来随着设计经验的逐步积累和成熟、加工工艺的不断改进以及运用维护工作的加强，我国牵引电动机的总体质量状况，正在朝着好的方向发展，而且有理由坚信会变得越来越好。

表 3-1 列出了电传动内燃机车牵引电动机常见规格型号的主要数据。

表 3-2 列出了部分直流牵引电动机技术数据。

二、定子结构、故障及改进

直流串励牵引电动机本质上也是一台直流电动机，由于其主磁极励磁绕组与电枢是串联的，所以励磁的大小是随着负载的改变而变化的，在结构及零部件的布置上，由于用作机车及动车牵引的需要，而增加了一些对普通直流电动机没有的要求。

直流牵引电动机主要由静止的定子和旋转的电枢两部分组成。定子的作用是产生磁场，提供磁路并作为整台电动机的机械支撑，它由主磁极、换向极、机座、端盖及轴承等部件组成。电枢即电的枢纽，一般称为转子，它是用来产生感应电动势和电磁力矩的，是直流牵引电动机将电能转变为机械能的主要部件，它由电枢铁心、电枢绕组、换向器和转轴等组成，另外还有一套电刷、刷架装置，电刷和换向器的工作面外圆接触，

表 3-1 电传动内燃机车牵引电动机常见规格型号的主要数据

序号	名称		ZQDR-204	ZQDR-260	ZQDR-306	ZQDR-410	ZQDR-410-1
1	机车种类		电传动内燃机车				
2	机车规格/t		2000HP	1000HP	3000HP	4000HP	4000HP
3	参数	额定电压/V	275/410	363/700	380/610	550/800	505/750
4		额定工作制	S1	S1	S1	S1	S1
5		额定功率/kW	204	260	303	410	410
6		额定电流/A	820	800	875	800	875
7		额定转矩/(kg·m)	396	546	627	637	627
8		额定转速/(r/min)	515	473	480	640	650
9		最大工作转速/(r/min)	2200	2370	2370	2365	2370
10		额定效率(%)	91.5	90.8	91	93	93
11		励磁方式	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级	B/B	H/B	H/B	H/B	H/B
13		电动机总重/kg	3200	2600	2600	3100	2600
14	电枢	电枢直径/mm	493	493	493	493	493
15		铁心长度/mm	400	490	490	460	490
16		槽数/槽	50	69	69	50	69
17		冲片槽尺寸/mm	11.1×57	8.9×47.5	8.9×47.5	11.2×45.5	8.9×47.5
18		电枢绕组型式	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
19		每元件匝数/匝	1	1	1	1	1
20		导体尺寸/mm	3(2.44×6.9)	3(1.56×6.4)	3(1.56×6.4)	3(2.26×9.3)	3(1.56×6.4)

（续）

序号	名　称		ZQDR-204	ZQDR-260	ZQDR-306	ZQDR-410	ZQDR-410-1
21	换向器刷握	换向器直径/mm	400	385	385	400	385
22		换向片数/片	150	276	276	200	276
23		片间云母厚/mm	1.0	1.1	1.1	1.2	110
24		梯形铜排尺寸/mm	9.26×120	4.6×117	4.6×117	6.67×118	4.6×117
25		梯形铜排角度/(°)	2°24′	1°18′16″	1°18′16″	1°48′	1°18′16″
26		刷握数×电刷数/块	4×3	6×3	6×3	4×2	6×3
27		电刷型号与尺寸/mm	D252 25×50	D376 2(9×35)	D347B 2(9×35)	D374B 25×50	D376 2(9×35)
28	定子	主极/换向极数/个	4/4	6/6	6/6	4/4	6/6
29		主极匝数/匝	29	11	11	15	11
30		主极绕组线规/mm	5.5×30	5×40	5×40	4×50	5×40
31		换向极匝数/匝	21	10	10	14	10
32		换向极绕组线规/mm	5.5×25	6.5×30	6.5×30	5×40	6.5×30
33	总装	主极中心/边缘气隙/mm	5/10	2.5/5.5	2.5/5.5	5/10	2.5/5.5
34		换向极一、二气隙/mm	8	5/2.5	5×2.5	7/1	5/2.5
35		传动端轴承	32426	32426	32426	32426	32426
36		非传动端轴承	92417	92417	92417	92417	92417
37		悬挂传动方式	抱轴式	弹性	抱轴式	抱轴式	抱轴式
38		中心距/mm	468.8	—	468.8	468.8	468.8
39	铜重	主极铜重/kg	263	156	156	167.2	156
40		换向极铜重/kg	110	118	118	120	118
41		电枢绕组铜重/kg	176	117	117	175.5	117

（续）

序号	名称		ZQDR-200	ZQDR-250（GE761-A19）	ZQDR-310	ZD-110	ZD-106
1	机车种类		电传动内燃机车				
2	机车规格/t		914 轨距	米轨	米轨	米轨	东风 11 型
3	参数	额定电压/V	350	500	500	400	680
4		额定工作制	S1	S1	S1	S1	S1
5		额定功率/kW	200	292	310	235	530
6		额定电流/A	645	645	680	650	835
7		额定转矩/(kg·m)	255	362	395	325	541
8		额定转速/(r/min)	765	786	765	705	955
9		最大工作转速/(r/min)	2500	3100	3100	3100	2385
10		额定效率(%)	88.6	90.54	91.18	—	93.4
11		励磁方式	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级	H/H	H/H	H/H	H/H	H/H
13		电机总重/kg	1425	1720	1720	1880	2737
14	电枢	电枢直径/mm	457.2	457.2	457.2	444.5	493
15		铁心长度/mm	180	260	260	260	315
16		槽数/槽	58	58	58	58	58
17		冲片槽尺寸/mm	7.24×41.68	7.24×41.68	7.24×41.68	—	10.9×43.7
18		电枢绕组型式	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
19		每元件匝数/匝	1	1	1	1	1
20		导体尺寸/mm	3.78×5.7	3.78×5.7	3.78×5.7	—	2.05×8.7

（续）

序号	名　　称		ZQDR-200	ZQDR-250（GE761-A19）	ZQDR-310	ZD-110	ZD-106
21	换向器刷握	换向器直径/mm	323.9	323.9	323.9	—	390
22		换向片数/片	232	232	232	232	232
23		片间云母厚/mm	1.2	1.2	1.2	—	1.2,1.3 各半
24		梯形铜排尺寸/mm	4.237×110	4.237×110	4.237×110	—	5.59×118
25		梯形铜排角度/(°)	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″
26		刷握数×电刷数/块	4×2	4×2	4×2	4×2	4×2
27		电刷型号与尺寸/mm	T900 19.05×38.1	T900 19.05×38.1	T900 19.05×38.1	T900 19.05×38.1	D374 20×43
28	定子	主极/换向极数/个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
29		主极匝数/匝	16(7+9)	16(7+9)	16(7+9)	—	18
30		主极绕组线规/mm	7.4×18.2	7.4×18.2	7.4×18.2	—	7×30
31		换向极匝数/匝	18	18	18	—	19
32		换向极绕组线规/mm	5×30	5×30	5×30	—	6×35
33	总装	主极中心/边缘气隙/mm	3.6/7.2	3.6/7.2	3.6/7.2	—	—
34		换向极一、二气隙/mm	7.7/1.3	7.7/1.3	7.7/1.3	—	—
35		传动端轴承	32326	32326	32326	32326	E32330
36		非传动端轴承	6318	6318	6318	6318	62318
37		悬挂传动方式	抱轴式	抱轴式	抱轴式	抱轴式	架承式
38		中心距/mm	393.7	393.7	393.7	393.7	—
39	铜重	主极铜重/kg	92	92	92	—	—
40		换向极铜重/kg	78	78	78	—	—
41		电枢绕组铜重/kg	70	70	70	—	—

（续）

序号	名称		ZD-109(ZQDR-410C)	ZD109A	ZD109B	ZD109C	GDTM533
1	机车种类		电传动内燃机车				
2	机车规格/t		东风8	东风4E	东风4B	东风8B	ND_2
3	参数	额定电压/V	645	670	670	670	275
4		额定工作制	S1	S1	S1	S1	S1
5		额定功率/kW	480	530	530	530	200
6		额定电流/A	800	845	845	845	820
7		额定转矩/(kg·m)	613	685	667	685	394
8		额定转速/(r/min)	764	754	770	754	495
9		最大工作转速/(r/min)	2350	2350	2350	2385	2300
10		额定效率(%)	93.02	93	93	93	—
11		励磁方式	串	串	串	串	串
12		定子/转子绝缘等级	H/H	H/H	H/H	H/H	F
13		电机总重/kg	3060	3000	2850	2850	2100
14	电枢	电枢直径/mm	493	493	493	493	542
15		铁心长度/mm	390	390	390	390	250
16		槽数/槽	58	58	58	58	75
17		冲片槽尺寸/mm	10.2×43.7	10.2×43.7	10.2×43.7	10.2×43.7	8.8×33.5
18		电枢绕组型式	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
19		每元件匝数/匝	1	1	1	1	1
20		导体尺寸/mm	2(2×8.7)	2(2×8.7)	2(2×8.7)	2(2×8.7)	2.8×5.6

（续）

序号	名称		ZD-109(ZQDR-410C)	ZD109A	ZD109B	ZD109C	GDTM533
21	换向器刷握	换向器直径/mm	390	390	390	390	320
22		换向片数/片	232	232	232	232	300
23		片间云母厚/mm	1.2(1.3)各半	1.2,1.3 各半	1.2,1.3 各半	1.2,1.3 各半	—
24		梯形铜排尺寸/mm	5.59×118	5.59×118	5.59×118	5.59×118	—
25		梯形铜排角度/(°)	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	1°33′6″	—
26		刷握数×电刷数/块	—	4×3	4×3	4×3	4×2
27		电刷型号与尺寸/mm	D374 (2×10)×43	D374B 2×10×43	D374B 2×10×43	D374B 2×10×43	D374B 2×1.25×50
28	定子	主极/换向极数/个	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
29		主极匝数/匝	18(7+11)	18	18	18	13
30		主极绕组线规/mm	7×30	7×30	7×30	7×30	5×45
31		换向极匝数/匝	18	18	18	18	11
32		换向极绕组线规/mm	6×35	6×35	6×35	6×35	9×22
33	总装	主极中心/边缘气隙/mm	8/10.5/1.8	8.15/10.5/1.5	8.15/10.5/1.5	8.15/10.5/1.5	6.5/7.5
34		换向极一、二气隙/mm	—	—	—	—	—
35		传动端轴承	E32330	E32330	E32330	E32330	8G32424
36		非传动端轴承	62318	62318	62318	62318	3G3618
37		悬挂传动方式	抱轴式	抱轴式	滚动抱轴式	抱轴式	抱轴式
38		中心距/mm	468.8	468.8		468.8	472.36
39	铜重	主极铜重/kg	198	198	198	198	—
40		换向极铜重/kg	167.9	167.9	167.9	167.9	—
41		电枢绕组铜重/kg	127.6	127.6	127.6	127.6	—

（续）

序号	名称		GE752AF8	ZD108	ZD108A	ZQDR-317	ZQDR-328	ZQDR-500
1	机车种类		电传动内燃机车			电动轮自卸卡车		
2	机车规格/t		ND5	东风 6		100	100	154
3	参数	额定电压/V	345	386	620	432/700	600/900	580/800
4		额定工作制	S1	S1	S1	S1	S1	S1
5		额定功率/kW	375	400	630	317	328	500
6		额定电流/A	1180	1150	1130	795	600	935
7		额定转矩/(kg · m)	850	812.5	802.9	540	488	451
8		额定转速/(r/min)	430	480	765	583	642	1080
9		最大工作转速/(r/min)	2450	2320	2445	2085	2345	2750
10		额定效率(%)	90	—	89.92	92.1	92.2	94
11		励磁方式	串	串	串	串	串	他励
12		定子/转子绝缘等级	H/H	H/H	H/H	H/B	F/F	H/H
13		电机总重/kg	3269	—	—	3300	3500	3600
14	电枢	电枢直径/mm	488.95	488.95	488.95	493	451	419.1
15		铁心长度/mm	384	393.7	393.7	490	435	415
16		槽数/槽	46	46	46	69	58	50
17		冲片槽尺寸/mm	13.72×38.99	13.72×38.99	13.72×38.99	8.9×47.5	8.2×45	8.25×41.8
18		电枢绕组型式	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠	单叠
19		每元件匝数/匝	1	1	1	1	1	1
20		导体尺寸/mm	3.51×6.05	3.51×6.05	3.51×6.05	3(1.56×6.4)	4(4.25×6.3)	3(2.65×7.1)

（续）

序号	名　称		GE752AF8	ZD108	ZD108A	ZQDR-317	ZQDR-328	ZQDR-500
21	换向器刷握	换向器直径/mm	422.3	422.3	422.3	385	365	343
22		换向片数/片	184	184	184	276	232	150
23		片间云母厚/mm	1.52	1.52	1.6	1.1	1.2	1.5
24		梯形铜排尺寸/mm	6.65×90	6.65×90	6.65×90	4.6×117	5.07×102.5	7.066×89
25		梯形铜排角度/(°)	1°57′23″	1°57′23″	1°57′23″	1°18′16″	1°33′66″	1°24′
26		刷握数×电刷数/块	4×3	4×3	4×3	6×3	4×3	4×3
27		电刷型号与尺寸/mm	T900 19.05×57.15	T900 19.05×57.15	T900 19.05×57.15	D376 2(9×35)	2(10×35)	2(9.525×57.15)
28	定子	主极/换向极数/个	4/4	4/4	4/4	6/6	4/4	4/4
29		主极匝数/匝	14(8+6)	14(8+6)	14(8+6)	11	16	43.5
30		主极绕组线规/mm	9.34×28.8(内)	9.35×28.8	9.35×28.8	5×40	4.5×31.5	1.4×35.5
31		换向极匝数/匝	10.16×28.8(外) 15	9.35×28.8 15	9.35×28.8 15	5×40 10	4.5×31.5 18	1.4×35.5 12
32		换向极绕组线规/mm	8.763×31.73	8.763×31.73	8.77×31.73	6.5×30	4×35.5	8.1×31.5
33	总装	主极中心/边缘气隙/mm	5/10	5/10	5/10	2.5/5.5	3.3/6.6	2.9/5.8
34		换向极一、二气隙/mm	9.14/4.25	9.14/4.25	9.14/4.25	5/2.5	5.6/2.5	3.1/5.3
35		传动端轴承	8G32330	8G32330	8G32330	32224	32224	32224
36		非传动端轴承	8G62320	8G62320	8G62320	92318	6318	6318
37		悬挂传动方式	抱轴式	抱轴式	滚动抱轴承	弹性	弹性	弹性
38		中心距/mm	468.8	468.8	—	—	—	—
39	铜重	主极铜重/kg	292	292	292	156	110	114.7
40		换向极铜重/kg	—	—	—	118	102	116
41		电枢绕组铜重/kg	—	—	—	117	100	86.4

表 3-2 部分直流牵引电动机技术数据

序号	项目 \ 型号 / 使用机车型号	ZQ650-1	ZQ800	ZQ800-1	ZD114	ZD115
		SS1	SS2	SS3	SS6B	SS8(Ⅱ)
1	额定功率/kW	630(持续)			800	900
		700h	800h	800h		
2	电压/V	1500	780	1500	1020/1183	1030/1100
3	电流/A	450(持续)			845	945
		500h	1100h	550h		
		810(最大)				1450
4	持续转速/(r/min)	900	—	—	960	1095
5	小时转速/(r/min)	875	945h	920h		
6	最高转速(r/min)	1835	1980	1980	1925	1946
7	转矩/(kg·m)	780h	824.5	847	812	801
8	励磁方式	串、固定 95%	串、固定 90%	串	串、固定 96%	串
9	绝缘等级	H/B	H/H	H/B	C	H
10	电机质量/kg	4000	3800	4000	4030	3550
11	风量/(m^3/min)	150		150		130
12	传动比	88:19=4.63			4.35	2.484
13	补偿绕组	有	无	有	有	有
14	恒功率速度范围/(km/h)				50~80.3	100~160
15	中心距/mm	595			602	
16	极数	4	6	4	6	6
17	试制年代	1967	1968	1978	1995	1997
18	电枢直径/mm	650	620	650	650	
19	电枢铁心长/mm	366	428	366	320	
20	电枢槽数	90	87	90	93	
21	每槽元件数	4	3	4	4	
22	电枢发热因数		3100	2585		3351
23	换向器直径/mm	540	465	540	500	
24	主极气隙/mm	6	9/4.5	6.5		
25	换向极气隙(第1/第2)/mm	7.5/3.5	8.8/4.5	8/3.5		
26	饱和系数		1.548	1.62		

（续）

序号	项目 \ 型号 / 使用机车型号	ZQ650-1 / SS1	ZQ800 / SS2	ZQ800-1 / SS3	ZD114 / SS6B	ZD115 / SS8(Ⅱ)
27	稳定系数		1.49			
28	电抗电势/V		4.43	3.445		4.59
29	平均片间电压/V		17.94	17.32		
30	最深磁场削弱(%)		48		38	45
31	最小稳定系数					0.70
32	最大电位梯度					70
33	最大片间电压/V					29.54
34	最大换向能量指标					2909

序号	项目 \ 型号 / 使用机车型号	ZD111S / SS7	ZD118 / DDJ	$TA0649B_2$（法） / $6Y_2$	SW-435（法） / BB-12000
1	额定功率/kW	800	1000	790h	665h
2	电压/V	925/1018	1080/1180	750	675
3	电流/A	925/1350	990/1485	1135h	1040h
4	持续转速/(r/min)	920	1138	890	860
5	小时转速/(r/min)				
6	最高转速/(r/min)	2005	1946	1930	2320
7	转矩/(kg·m)	847	856	790	746
8	励磁方式	复(他、串)	串		
9	绝缘等级	H	C	H	F/F
10	电机质量/kg			3570	3030
11	风量/(m^3/min)	125	130		
12	传动比	4.35			
13	补偿绕组	有			
14	恒功率速度范围/(km/h)	48~80	124~195		
15	中心距/mm				
16	极数	6		6	6
17	试制年代			1959	1954
18	电枢直径/mm			620	534
19	电枢铁心长/mm			390	407

（续）

序号	项目 \ 型号 / 使用机车型号	ZD111S	ZD118	TA0649B_2（法）	SW-435（法）
		SS7	DDJ	6Y_2	BB-12000
20	电枢槽数/mm			87	51
21	每槽元件数			3	6
22	电枢发热因数		3680	3450	
23	换向器直径/mm			462	438
24	主极气隙/mm			5.64	8/4
25	换向极气隙(第1/第2)/mm			8.8	8
26	饱和系数			1.57	
27	稳定系数			1.43	
28	电抗电势			4.07	
29	平均片间电压/V			17.25	
30	最深磁场削弱	44.4	44		
31	最小稳定系数				
32	最大电位梯度		75.1		
33	最大片间电压/V				
34	最大换向能量指标		3486		

注：1. ZD-115 采用轮对空心轴传动，电动机轴向尺寸较小，采用全叠片无机壳的机座，主极线圈平绕结构，定子和转子采用旋转烘焙。传动端轴承外圈有绝缘层，可防轴电流引起的电腐蚀。在脉动电流下进行负荷试验，主磁极绕组和电枢的温升裕度在 10K 以上，换向极达 40K，试验各工况的火花等级均在$1\frac{1}{2}$以下，大多$1\sim1\frac{1}{4}$级。

2. ZD-114 牵引电动机采用半叠片机座，每槽元件数为 2，电枢槽内平放结构。采用半悬挂的滚动轴承抱轴（圆锥滚子轴承）。日立电机型号为 HS 14263-02R。

3. ZD-114A 是吸收 ZD-115 的优点后对 ZD-114 进行优化而成，在电气性能和力学性能上与 ZD-114 能互换通用，从而可替代 ZD-114 使用。

4. ZD-111S 电动机采用复励，额定他励电流 210A，从而提高了粘着利用系数。采用定子与电枢均是叠片冲片的全叠片结构，无芯柱式换向极铁心，主极与换向极采用一体化结构。

5. 在早期试制生产的韶山 1 型电力机车上，曾采用过 ZQ-650 型牵引电动机，小时功率 650kW，额定电压 1500V、小时制电流 475A，小时制转速 800r/min、串励励磁、主极数为 6，没有补偿绕组、抱轴式悬挂，牵引电动机总质量达 4660kg，电动机的单位质量功率仅为 0.14kW/kg。由于 ZQ650 牵引电动机环火严重，在 SS1 的 7 号车开始改用了 ZQ650-1 牵引电动机。

使电枢电路和外电路相通。当定子励磁绕组与电枢串联并接通直流电后，电枢绕组在定子磁场的作用下，将按电磁力的作用方向运动（左手定则），所有电枢绕组元件受力的合力，使转子旋转起来，通过轴伸上的齿轮传动装置带动动轮对旋转，从而使机车实现

前进或后退。

典型的直（脉）流牵引电动机轴向总布置图及三维拆装图，如图3-1、图3-2所示。

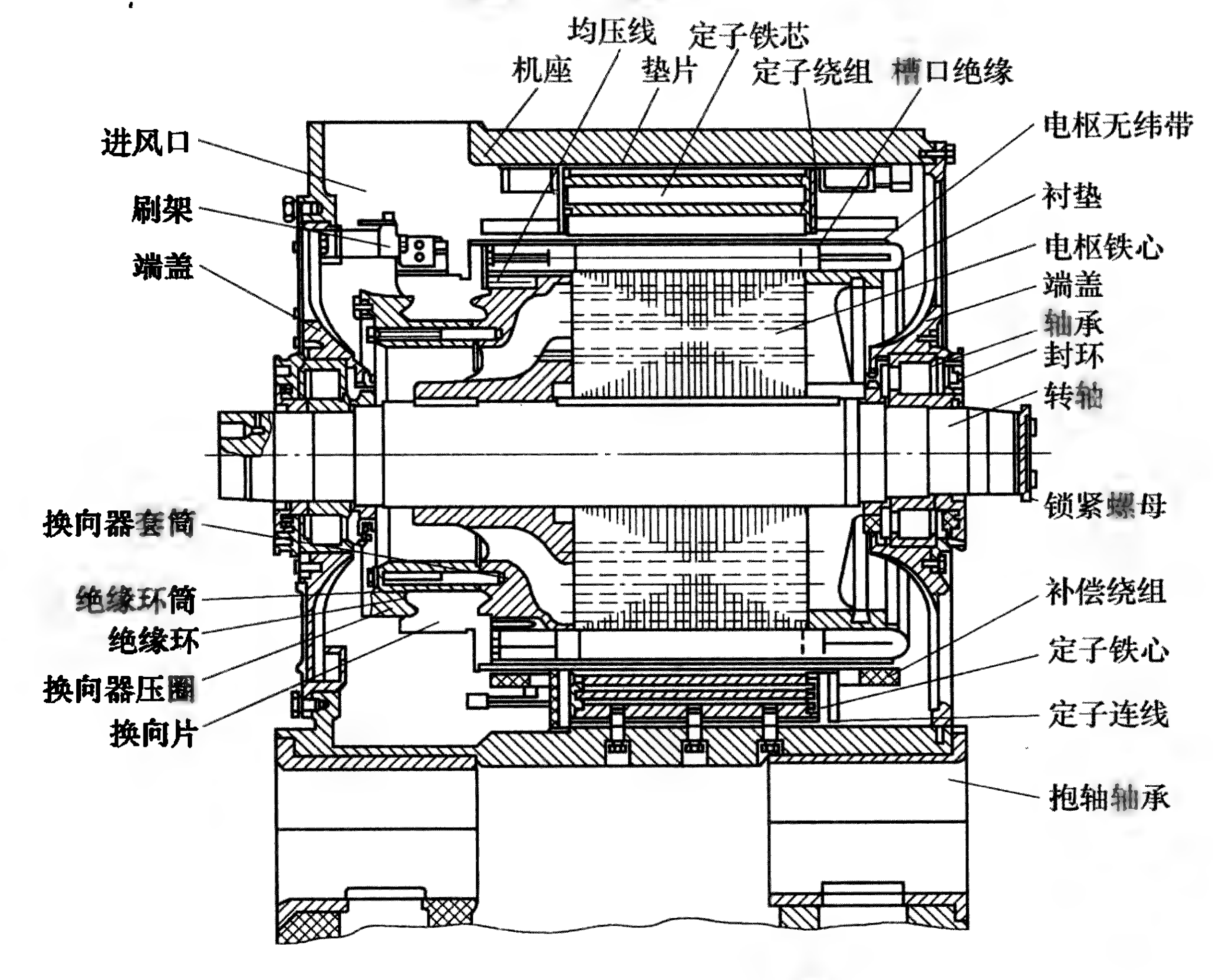


图3-1 牵引电动机轴向布置图

直流牵引电动机的机座，又叫磁轭，它是牵引电动机定子磁路中的重要一部分。机座导磁体的材质、机壳厚度及其工艺状态对电机性能起着很重要的作用。

机座除导磁外，还起着固定牵引电动机定子部分的作用，如主磁极、换向极、刷握装置、两侧端盖轴承、接线装置、盖板等。另外，机座对外部还起着将牵引电动机整机固定于机车转向构架的功能，如抱轴悬挂部分、弹性挂鼻支撑等，因此机座内、外部的形状比较复杂。

牵引电动机机座坯料常用三种方式制成，一是低碳铸钢件（25号以下），这是中小型牵引电动机机座及早期大型机座的主要工艺方式。铸钢件机座尺寸精度差，各成型号尺寸之间的相对位置难以保证，而且外观质量也差，外形很多地方无法机械加工。机座磁轭的导磁部件的疏松缩孔等，会影响到电动机的电气性能。第二种方法是半铸件、半焊接的结构，即机座的圆形磁轭筒体用铸件，其余做成成型件再焊接上去，再经回火及机械加工而成。这种方法有效地克服了铸件机座外观质量差的问题，性能也有一定程度的改善。第三种方法是半压制成型半焊接的结构，即八角形的磁轭部分用厚钢板（常用厚40~50mm）弯压成两半个再焊接而成，其他两侧端块、吊挂、底脚、盖板及引出线盒位置等，均先做成成型零件再与钢板磁轭焊接而成。本方法的最大优点是一致的、优良的导磁性能，为确保牵引电动机转速特性的统一性提供了有力的保证。



图 3-2 牵引电动机三维拆装图

机座不论是铸件还是焊接件，均须进行有效的时效处理以消除其内部的应力。机壳加工的关键部位尺寸有磁轭内孔尺寸、两端止口精度尺寸及与内孔的同轴度、磁极孔等分精度、抱轴孔孔径尺寸及与机壳内孔两侧的中心距尺寸等。机壳的加工目前均采用多种专用机床来保证，如数控全自动加工机床、磁极孔等分专用加工机床、抱轴中心距专用加工机床等，不仅使机座加工精度得到了保证，而且大大提高了加工的速度。

牵引电动机的机壳有圆形和八角方形两种，对于六极牵引电动机，采用圆形机座比较好，因为可以减轻机座的重量及简化机座的加工，但是在同等机座外径的条件下，其空间利用率较差，此外六极牵引电动机的零件、部件的数量较四极时多，这对零部件的加工、装配及电刷、刷握的更换和维护都是不利的，因此目前的大中型牵引电动机绝大部分都制成四极的，即用四个主磁极和四个换向极、四个刷握。此时用八角方形的机座能最有效地利用其内部空间，在四个斜角处放置四个换向极非常合适，但应注意机座放换向极线圈处的机壳平面的加工必须得到有效的保证，其对径距离（机壳二个直径方向对面的平面间距离，简称对径距离）尺寸，包括主、附两极台及其对中的要求必须符合设计图纸，以避免由于换向极气隙值的制造偏差而造成电动机换向不良。

直（脉）流牵引电动机的定子主要由机壳、主磁极、换向极和定子连线等组成。主极和换向极的装配如图 3-3 所示。

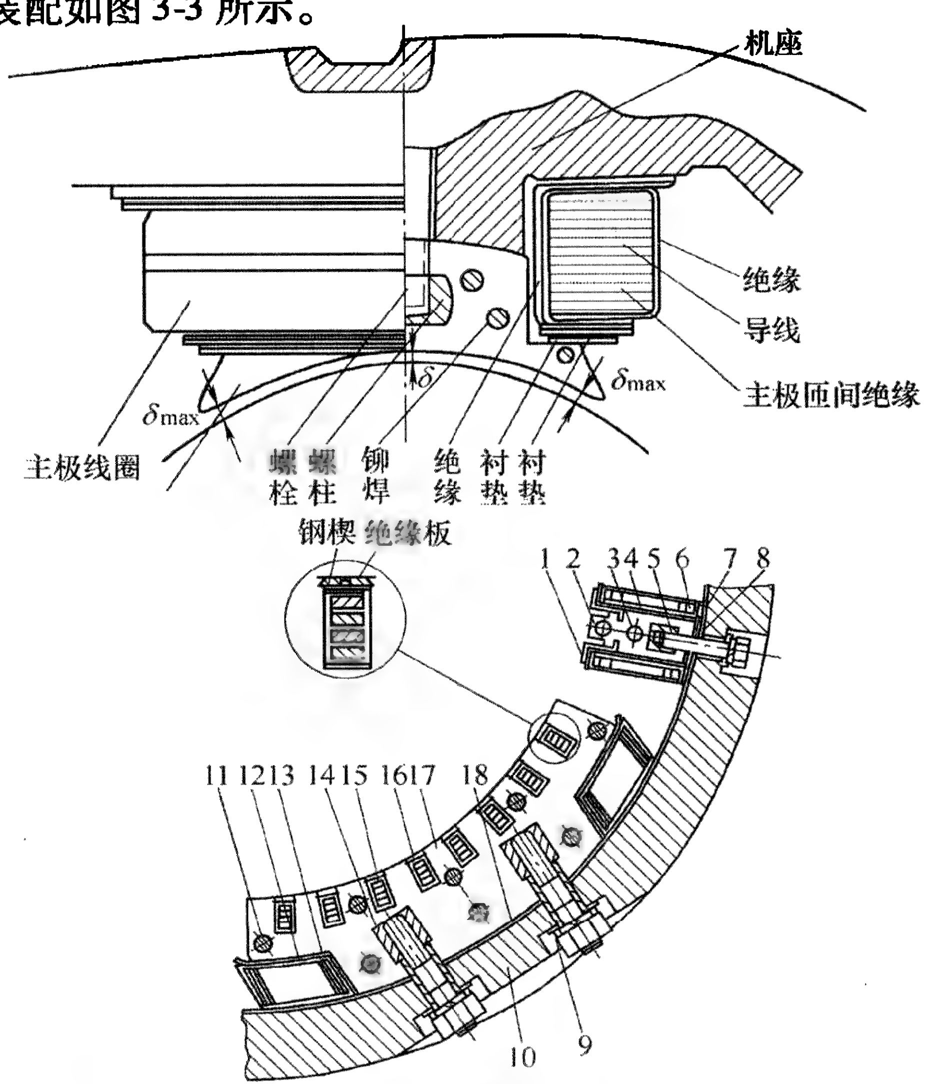


图 3-3　主极和换向极装配简图

1—支撑　2—换向极铁心　3—铆钉　4—法兰　5、14—钢杆　6—换向极线圈　7—第二气隙绝缘垫片　8—垫片　9—绝缘套管　10—机座　11—铆钉　12—法兰　13—主极线圈　15—补偿线圈　16—槽楔　17—主极铁心　18—磁桥垫片

主磁极和换向极分别用2～3个螺栓拉紧固定在机座上，为防止油水、灰尘从紧固螺栓缝隙处进入电动机内部，机座上沉头凹窝孔处常用腻子或高温沥青密封。中小牵引电动机的拉紧螺栓常用M8～M20，而大型牵引电动机则常用为M24～M36，而且常用无磁性材料制成，以减少漏磁。

主磁极主要由主极铁心及主极线圈两部分组成，其他还包括对地主绝缘、外包防护绝缘、磁极衬垫、法兰及支撑弹簧板等。

主极铁心通常用1.5mm厚的Q235A（老牌号B_3）钢板冲成主极冲片，再多片叠压并铆紧而成，为充分压紧不弯曲，两端常用4.5mm厚的钢板压紧，厚端板每端可用2～3块以充分压紧。主极冲片上留有1～2个长方形孔或3～5个圆孔，以便用冷拉方钢铆杆或圆形冷拉铆杆穿过，再在压紧状态下两端锥孔口部铆紧，并点焊焊牢防松。主极铁心压装铆焊时，必须保证主极铁心的总长度及一定的重量或片数，使主极铁心的叠压系数≥0.97。

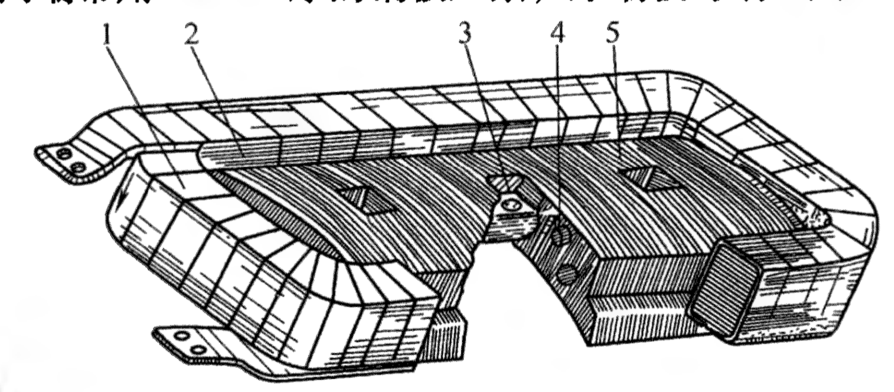


图3-4 主磁极
1—主极线圈 2—端板 3—芯柱 4—铆钉 5—铁心冲片

铜排扁绕而成的主磁极如图3-4所示。

直流和脉流牵引电动机的磁极装在机座内孔中，均为凸极（或显极）式磁极。考虑到定子铁心与转子铁心在轴向有偏移及两端部磁通的穿越覆盖，通常主极铁心的长度要比电枢铁心长出5～20mm。

换向极又称附加极，主要是由换向极铁心和换向极线圈两部分组成，另外还包括换向极绕组的对地主绝缘，防护用的外包绝缘，换向极装配时用的磁极衬垫、法兰、支撑用的弹簧垫片及调整第一和第二气隙用的垫片等。换向极结构如图3-5所示。

换向极铁心的形状较简单，其截面为矩形或T形，如图3-6所示。近电枢侧的口部有高为h的小凸边，是为固定换向极线圈及增大极靴部分宽度之用。由于换向极铁心的磁通密度较低且形状不复杂，所以常用低碳整体锻钢制成。

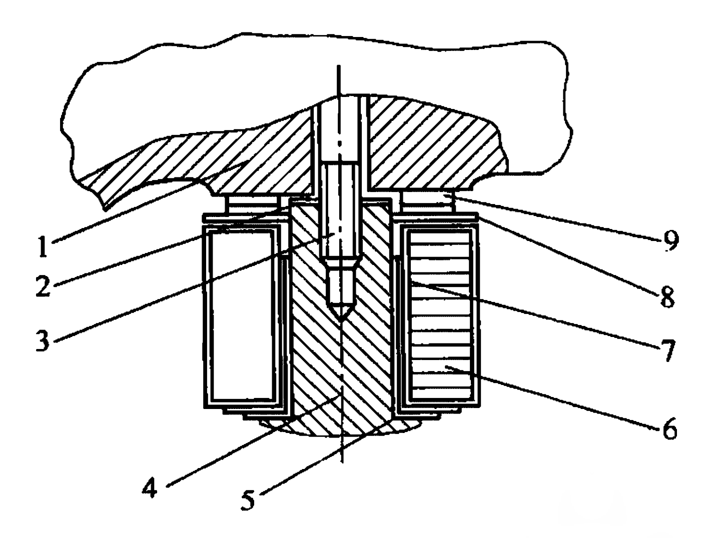


图3-5 换向极结构
1—机座 2—第二气隙 3—换向极螺栓 4—换向极铁心 5—外包绝缘 6—换向极线圈 7—磁极衬垫、法兰 8—第二气隙垫片、绝缘垫片 9—支撑用弹簧垫片

换向极铁心与机座之间的气隙，称为第二气隙。气隙中垫入非磁性材料（如黄铜片或层压布板）做的垫片，用以调节第二气隙大小。

在新系列的普通直流电动机中，为适应可控硅整流电源供电并改善在过渡瞬变过程中的

换向，换向极铁心常用0.5mm厚的电工硅钢板，在冲制成型后再用拉杆或铆杆将其压紧，一般称之为叠片换向极（图3-7）。在脉动系数较大的脉流电动机中也常采用，以使改善换向极磁通对电枢电流的一致性，减少由于换向极磁路的涡流对牵引电动机换向的影响。

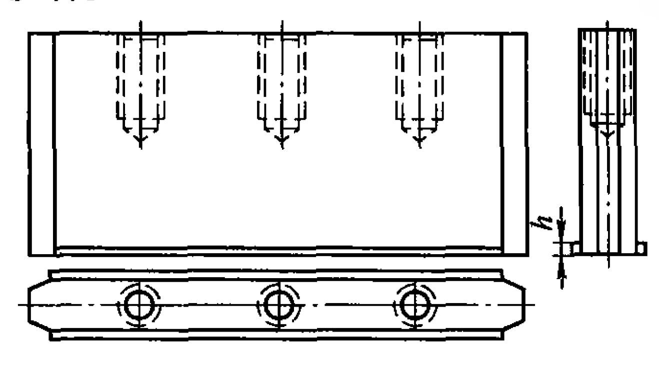


图3-6　换向极铁心

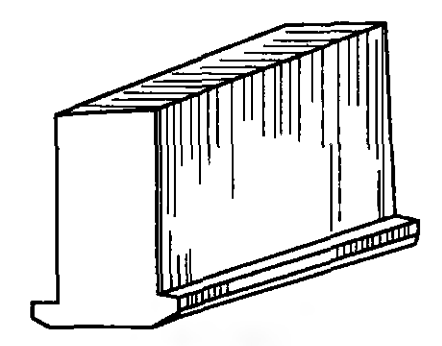


图3-7　叠片换向极铁心

调查统计表明，东风4型4000hp电传动内燃机车牵引电动机定子部分的故障占到该牵引电动机总运行故障的一半以上。

主极和换向极故障占总故障的29.1%和22.8%（1996年和1995年统计，下同），其中主极故障占15.0%和12.3%，换向极故障占14.1%和10.5%。

故障主要表现为主极、换向极线圈接地，其次是出线头断或烧损。接地点通常在线圈内侧圆弧处（对应铁心尖棱）换向极还常在线圈靠近机座的出线头处接地。

现场解体时，发现主极、换向极线圈与铁心间存在较大间隙，甚至该空隙中无任何填塞物。

引出线和连线断裂占总故障的27.6%和27.5%。其中以C2线断得最多，C1、H2线次之。

出厂运行1年内的电动机断线较少，1年后，断线逐渐增多。

目前机务段采取的改进措施是将C2、H2线改成硬软复合线和铜皮引出线，改进后断线故障减少；但有些厂段使用的硬软复合线仍有断裂，主要从编织线接头搪锡处及长孔处断裂。

现场还发现，用蜡线绑扎连线和引出线时绑不紧，有蜡线松弛现象；连线接头紧固螺栓松，造成连线烧断。据某机务段统计，1995和1996年，ZQDR-410牵引电动机，由于主极连线烧损，使牵引电动机落修的总台数分别达到68台和84台之多，占到该年份落修总台数的比例均超过50%以上。

黑龙江某机务段从1998年11月份到1999年2月份，4个月，ZQDR-410电动机总故障86台，其中C1、C2引出线烧损断裂共42台，占落修总数的48.8%，主极线圈和换向极线圈烧损共26台，占落修总数的30.3%，这样定子部分故障占总故障台数的比例合计高达79.1%，是410型电动机的发生故障的主要部位。由于该段地处东北地区，在严寒季节，引出线断裂在这几个月内较为集中；另外钢轨接口的缝隙较大，轨面及机车部件的刚性增加，脆性加强，相应塑性及韧性下降，振动导致的故障增加，这是一个主要的外部因素。

据某铁路局统计，自东风4B型电传动内燃机车投入运行以来，牵引电动机ZQDR-410及ZD-109B的故障率一直较高，尤其是定子接地和连线断裂，几乎占到整个牵引电动机故障的60%（见表3-3）。

表3-3 某铁路局1995~1998年电机故障统计表

年份	定子接地	连线断裂	其他	合计
1995	42	66	153	261
1996	88	91	91	270
1997	95	198	198	491
1998	116	209	213	538

DF4D型内燃机车自1997年底开始配属在某机务段，现有90台。每台机车装有6台530kW的ZD109B型牵引电动机。运行中发现电动机的引出线故障较多，其中包括引出线外包绝缘层磨破接地、断股烧损、线耳烧损、S1引出线断股造成电动机放炮烧损、主极引出线断股烧断后削磁回路电器烧损等。这些都严重影响机车的正常运行。ZD109B型牵引电动机故障落修台数按原因分类统计见表3-4。

表3-4 某机务段几年来ZD109B型牵引电动机故障落修台次

年份	引出线断股	引出线线耳烧损	接地	环火放炮	换向极断	匝间短路	齿轮裂损	齿轮圆螺母松动	大轴承发热	其他	合计
1999年/台数	21	0	4	8	0	3	0	1	2	8	47
1999年/次数	45	0	8.5	17	0	6.4	0	2.1	4.3	17	100
2000年/台数	34	2	0	21	1	1	1	1	1	9	71
2000年/次数	48	2.8	0	30	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	13	100

从表3-4中可以看出，1999年故障落修47台，因引出线故障落修21台，占落修台数的45%；2000年故障落修71台，因引出线故障落修36台，占51%；还有一些可以不落修处理的故障，如引出线磨破、线耳处断股等没有统计。所以防止引出线故障是降低牵引电动机故障落修率的重要途径。

电力机车脉流牵引电动机的定子故障率也是很高的，据制造厂对使用机务段的统计，SS3电力机车用ZQ800-1脉流牵引电动机，从1995年到1998年上半年的统计，定子部分的故障率占同期电动机总故障率平均为54%，也达到一半以上。

针对定子故障的严重性，牵引电动机的生产厂商及运行维修部门进行了大量的改进和原因分析工作，事实证实已经取得明显的成效。

410电动机主极连线在电动机内部的分布情况如图3-8所示。其中1号、2号、3号、4号、9号、10号处故障率最高，1号、10号为通常所说的C1、C2引出线。

造成定子线圈烧损及连线断裂的原因有以下方面。

（1）定子线圈与定子铁心之间的一体化结构存在缺陷。尤以重量较大的主极更加突出。定子线圈内接触面与铁心外接触面间因安装及生产工艺需要，必然存在一定的间隙。要保证铁心与主极紧固良好，须对主极采用一体化处理，以防止主极与铁心产生相对运动。原主极一体化处理是在主极铁心与线圈之间填塞毛毡纤维，然后用填充泥填满铁心与线圈间的间隙，使线圈与铁心形成一个整体。

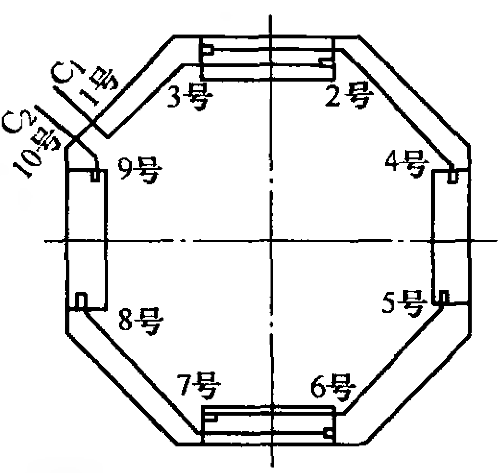


图3-8 主极连线在电动机内部分布示意图

但是一体化工序的处理方法上通常存在一些问题，毛毡纤维没有塞紧，在定子磁极与铁心间形成空隙，不能起到充分紧固作用。填充泥本身粘着力较差，黏稠的填充泥在填刮时常无法填满所有的间隙，与毛毡纤维间形成紧固的隔离层，烘干后自成一体而不能合成坚固紧密的整体，这些填塞物与两侧的铁心和线圈极易分离，由于间隙小，实际操作中的填充泥只刮满了线圈与铁心间靠表面的间隙，里面的间隙及另一面均无填充泥。这使得主极线圈与铁心间比较空松，不能成为一个牢固的整体。

再者由于间隙中填充泥未干，无法承受力，而纤维毡又未塞紧，因此主极实际未成为真正的一体。吊装时线圈会因松动和自重而下落，使得线圈与铁心上边间隙缩小，下边增大，从而导致线圈上端与铁心很可能直接接触，而下边线圈与铁心间则更加空松。另外在定装调主极等分度时，要左右调节铁心中心位置，可能会使线圈与铁心左右侧的间隙有所改变，刮好的填充泥在间隙变大的一侧相对过少，间隙空松，难成一体。

用填充泥作一体化材料，当时考虑到其优点是工艺简单，周期短，维修方便，但它存在两个缺点：一是黏性不够，干后自成一体，不能把线圈与铁心固化成一体；二是该材料干后变硬而脆，在机车运行中受振动而易振断、挤碎甚至脱落。

由于以上工艺和材料上的缺陷，主极一体化效果很差，铁心与线圈并未成为真正的一体，在机车运行中铁心与线圈有可能因电动机振动而产生相对运动磨坏对地绝缘，造成主极接地。从接地主极的解体检查，发现主极线圈与铁心间的填充泥均已松动、断开，部分已脱落。接地故障大部分就是因铁心磨坏线圈绝缘造成的。

在定子装配时用大螺栓将主极和换向极拧紧，安装时铁心和机座未能很好地将线圈压紧，电动机在持续振动条件下，线圈渐渐松动，并与铁心、机座摩擦，对地绝缘被磨损而导致接地故障的发生。

要夹紧线圈，首先是在线圈的高度方向（电动机径向）。410型电动机的主极换向极线圈高度方向尺寸公差大，在定子装配时要加很厚的垫片（厚6～9mm）。这样不易保证线圈被恰到好处地压紧，如果工艺不严，线圈与机座间很可能存在间隙。有些看似已压紧的线圈，因为压紧力不足，在运用一段时间后，也会出现间隙。

其次是线圈内框尺寸与铁心间的配合精度差（见表3-5）。因410型电动机线圈尺寸公差很大，线圈内框与铁心的间隙往往较大。靠塞适形毡和玻璃布板常常不能把线圈撑紧，浇的环氧胶在长时间高温老化后，其尖棱还会损坏线圈的绝缘。

表 3-5 主极换向极线圈内框尺寸与铁心配合的间隙（电枢切向）

电动机型号	单边间隙/mm	填塞物及方法
410	1.5~3.5	塞玻璃布板和适形毡，浇环氧胶
TAO649	0.5	1mm 厚的毡，整体真空，压力浸漆

比较 GE752 电动机，换向极也是扁绕线圈，高度方向要进行预压；装配时垫片不厚，线圈高度尺寸比对应的铁心高度尺寸大 1.6mm；定装时，换向极铁心被螺栓紧固在机座上，线圈高度方向有 1.6mm 的压缩量，能确保压紧。

又如 TAO649D 电机，线圈尺寸公差小，线圈与铁心的间隙也小。1mm 厚的毡压到 0.5mm 厚的间隙后，经过 VPI 浸漆，线圈与铁心结合牢固，抗振能力强。

从现场来看，开始出现接地故障，多数在运用一段时间（通常为 15 万 km）以后，且时间越长，接地故障越多。这说明是绝缘慢慢磨损后接地。故障点多在线圈内框碰铁心尖角处。这些都印证上述分析是正确的。

虽然各部位的主极换向极都有接地故障，但以抱轴侧为多。可以认定，轮对冲击和大小齿轮啮合不良，均是造成主极换向极接地的原因。

对 ZQ800-1 型电动机，定子绕组还由于下列原因而引起接地。

1）主极线圈浸漆时因吊挂而绝缘受损　考虑到浸漆后有利于滴漆，主极线圈包完对地绝缘后的浸漆是吊挂在两圆钢做成的横杆上进行的，每次浸漆后横杆均会残留少量漆渣，由于没及时铲除，线圈挂在上面容易被漆渣顶破绝缘。即使没一点漆渣，由于 ZQ800-1 型牵引电动机为 4 极电动机，其主极线圈质量比 6 极电动机主极线圈的大得多，有 40 多千克，浸漆时其重量全承受在线圈与圆杆接触的一个点上，挤压力非常大，绝缘容易被压坏、压破。生产中主极对地击穿的位置多在线圈的这个吊挂位置，在机车运行中因受潮气、粉尘的侵蚀，时间一长，也容易在这个薄弱位置击穿。

2）主极线圈内部引线头棱角未锉钝　在包对地绝缘时，粉云母带可能被接头棱角划伤，而且线圈内框尺寸在内部引线头处最小，套极时该处与铁心的间距较小，容易挤破此处绝缘，耐压时击穿接地。

3）主极线圈弧度偏差过大，使主极线圈与机座的接触面偏小，受力集中，稳定性差而容易松动。

4）定装时主极螺栓紧固力矩不够，在机车运行中螺栓因电动机的振动而松动，从而使主极松动并与机座产生相对运动，磨坏线圈绝缘，造成接地。这是引起主极线圈对机座接地的主要原因。

（2）定子连线固定定位不当及连线不规范造成引出线断裂。牵引电动机由于外界及其他因素的影响，不可避免地会产生振动。当主极连线定位卡间跨距太大时，中间悬空部分易产生较强的振动，并直接作用于连线端部，最终造成连线端部疲劳裂纹，直至折断。由于机车牵引电动机连线卡使用的是线绑式固定卡，而线绑式固定卡易松动，绑扎线易老化断裂，同时也由于配件周转等因素的影响，致使许多电动机未能及时跟车入

厂大修，绑扎线长时间未更新，从而使连线不能很好地固定，最后，连线因振动加剧而裂损、折断。

在主极线圈与连线连接过程中，由于工艺上的原因，连线尺寸不规范，线圈引出线与连线连接处未能很好地吻合，于是在线圈出线口及连线间产生了一个连接应力，运行中主极出线口及连线因交变应力作用而断裂烧损。其不规范情况有两种：

1）线圈引出线与连线错位时，往往需要左右撬动才能连在一起，用螺栓强行连接之后，连线与线圈出线口会产生弹性变形，其间就存在一个连接应力。

2）线圈引出线与连线上下两接触面不平行，使用螺栓硬性连接后，连线与线圈引出线都会产生弯曲，弯曲应力将直接作用于连线。

造成引出线断裂的主要振源为传动端的大、小齿轮啮合不良，在垂直方向产生的数百赫兹频率的振动。抱轴部位的引出线断裂远比极间连线断裂故障多，说明仅几赫兹的轮对冲击也是造成线断的主要振源之一。极间连线，水平方向布置的连线断裂远比垂直向布置的连线断裂多，说明电动机受到的振动以垂直方向为主。

为了减少 410 型电动机的主极、换向极接地烧损及极间连线、引出线断裂的故障，牵引电动机的制造和运修部门均作了多项改进，已经收到了以下良好的效果。

（1）提高定子、线圈一体化结构参数，实现定子真正一体化　旧线圈整形，减小线圈内框与铁心的间隙；线圈高度方向 6mm 的间隙垫钢板或弹簧垫板；线圈与铁心间垫白坯适形毡，压装后整体真空压力浸漆。

（2）改进引出线和连线结构　引出线 C1、C2、H2 采用软铜皮结构，连线线规由薄宽型改为厚窄型；接头一律采用焊接方式连接；采用无纬带绑扎，加强连线引出线的固定；出线盒采用角钢焊接结构，加强对电动机大线出线的固定。

（3）提高抱轴螺栓紧固性　抱轴油箱止口采用涂镀等方法，使止口配合由间隙配合变为过盈配合；抱轴螺栓加长，螺纹改细牙。

（4）增强端盖与机座的紧固可靠性　端盖止口采用涂镀方法，使与机座配合由过渡配合变为过盈配合。

三、单叠型电枢绕组的构成

1. 单叠型电枢绕组的构成

铁道干线电力机车用脉流牵引电动机及电传动内燃机车用直流牵引电动机，由于功率大，电流大，都采用了并联支路数等于磁极数的单叠型电枢绕组，另外中小功率的磁极数为 2 的直流牵引电动机及辅助直流牵引电动机，无法做成单波绕组，也都做成单叠型电枢绕组。下面举例说明单叠型电枢绕组内部连接规律，图 3-9 为 ZQDR-410 的展开图。

该电动机的电枢绕组嵌线数据如下：

电枢槽数：50；换向片数：200；

每槽换向片数（即虚槽数）：4；

槽节距 $y_1=12$（1—13）换向器节距 $y_K=1$（1—2）。

电枢绕组其他相关数据：

电枢直径：ϕ493mm；电枢铁心长度：460mm；
电枢绕组元件匝数：1；
总导体数：400；
电枢绕组线规：两根并绕竖放（2. 26mm × 9. 3mm/2. 38mm × 9. 45mm QZB）；
间隔单玻璃丝聚酯漆包扁铜线：QZSBCB，截面积：41. 32mm^2。
从绕组展开图中可知，绕组元件连接规律见表 3-6。

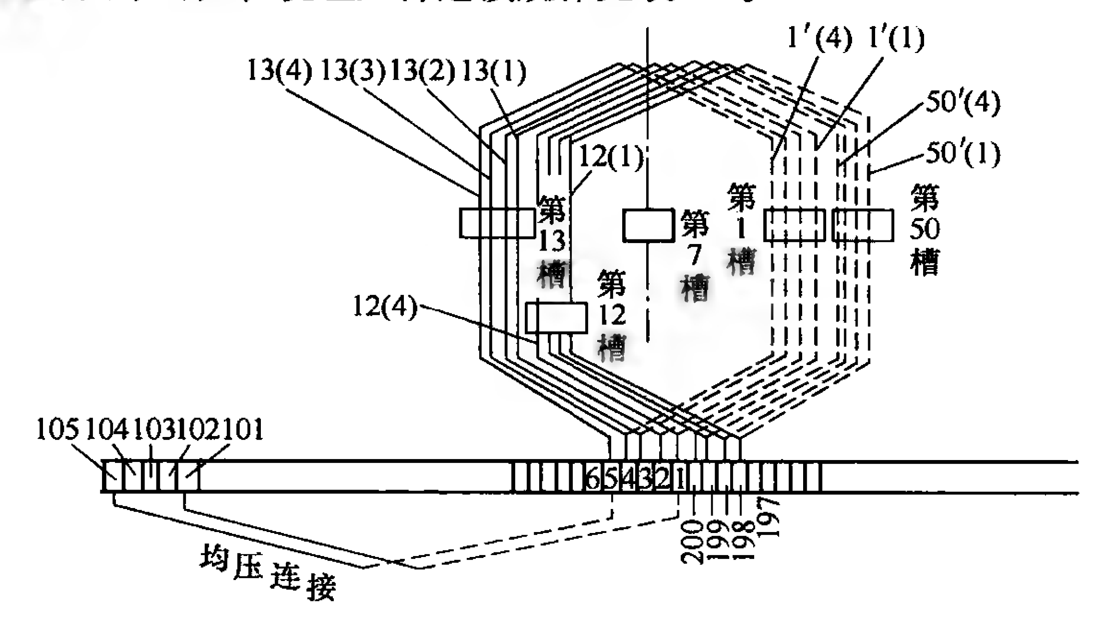


图 3-9　ZQDR-410 牵引电动机电枢绕组展开图

表 3-6　ZQDR-410 牵引电动机绕组元件连接规律

下层换向片号	下层铁心槽号	上层铁心槽号	上层换向片号	下层换向片号	下层铁心槽号	上层铁心槽号	上层换向片号
1′	1′(1)	13(1)	2	50′	13′(2)	25(2)	51
2′	1′(2)	13(2)	3	90′	23′(2)	35(2)	91
3′	1′(3)	13(3)	4	150′	38′(2)	50(2)	151
4′	1′(4)	13(4)	5	170′	43′(2)	5(2)	171
5′	2′(1)	14(1)	6	186′	47′(2)	9(2)	187
6′	2′(2)	14(2)	7	190′	48′(2)	10(2)	191
7′	2′(3)	14(3)	8	198′	50′(2)	12(2)	199
8′	2′(4)	14(4)	9	199′	50′(3)	12(3)	200
9′	3′(1)	15(1)	10	200′	50′(4)	12(4)	1
10′	3′(2)	15(2)	11	1′	1′(1)	13(1)	2
20′	5′(4)	17(4)	21				

在串联完 200 个绕组元件以后，回到了起始处的第一个绕组元件即片 1′—槽 1′（1）—槽 13（1）—片 2，完成了整个绕组的闭合。

电枢绕组在 15℃时的电阻值可从下式计算。

$$R_{a15}=\frac{\Sigma L}{57Fa^2}=\frac{2ZU_n l_s\times\frac{1}{2}}{57Fa^2}=\frac{2\times50\times4\times0.913}{57\times41.32\times4^2}=0.00969\Omega$$

式中　ΣL——电枢导体总长度；

Z——槽数；

U_n——虚槽数，即每槽并列绕组元件数；

l_s——电枢绕组元件平均匝长；

$\frac{l_s}{2}$——每个电枢导体的平均长；

F——电枢导体截面积；

a——电枢绕组并联路数，支路对数的 2 倍。

注：按 410 型电动机电枢线圈尺寸计算的数据，电枢导体的平均长度为 0.913m。

整个电枢绕组根据四个主磁极分成四条并联支路。电枢绕组的结构形式决定了一条支路的所有线圈都在一个磁极下面。这时若各个磁极的气隙或磁路磁阻稍有不同时，就会在各支路内感应出不同的电势。由于电枢绕组的内阻值很小，所以不平衡的电势在并联支路中产生较大的环流，从而造成各并联支路的负载电流分配不均匀，使电枢铜耗增加。同时由于各电刷下的电流也不相同，将使某些电刷负载过大，引起换向困难。因此需要采用均压线将各支路中的对应点连成等电位点，以保证各支路电流均匀分配。如 410 型电枢展开图中换向片 1 和 101 之间的连接线就是为了均压之用，称为均压线（见图 3-10）。410 型电动机采用每槽即相隔 4 个换向片就布置一根均压线，因此共有 50 根均压线，均压线节距为 1—101，用 2.26mm×4.1mm 的双玻璃丝漆包线做成。均压线放置在电枢绕组与换向器套筒之间，焊入换向片的升高片槽的下部，因此放置均压线的换向片在升高片处铣槽深度要增加，并每隔 4 片放 1 片。牵引电动机的均压线常见放置于换向器端，可靠固定在电枢绕组下方与电枢压圈 33°面上方之间。

人字形均压绕组结构（见图 3-11）较为简单，制造及嵌放均较方便，在大中小型的直流电动机叠绕组中得到了广泛的应用。另外应注意均压线本身及与电枢线圈和换向器套筒之间的相互绝缘，在各不同电位的各层间及匝间及对地之间都要垫放好绝缘。

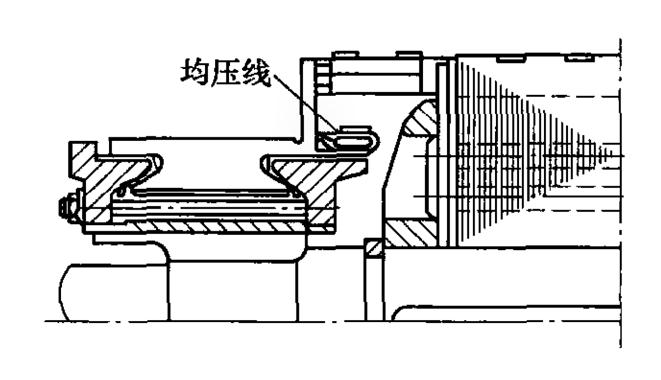


图 3-10　均压线

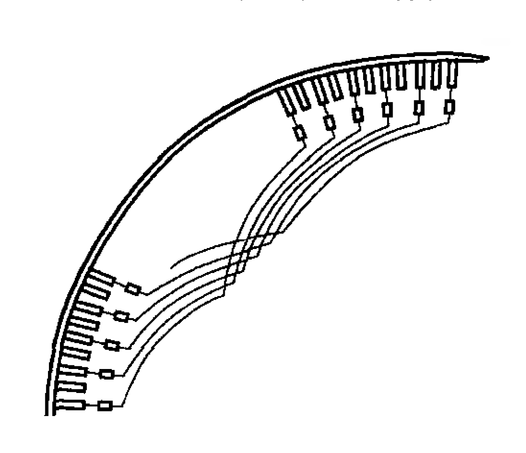


图 3-11　人字形均压绕组

2. 单波、单叠型电枢绕组与蛙式电枢绕组在节距方面有的主要区别：

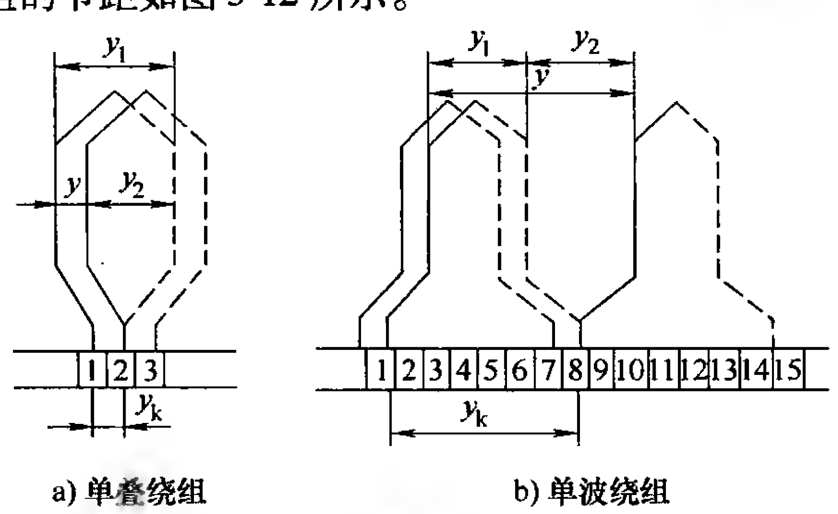
在直流电动机电枢绕组的展开图中，常用到以下各种节距。

（1）前节距 y_1　又称第一节距，同一线圈的两个有效边沿电枢表面所跨过的距离，称为前节距，一般用槽数表示。因线圈的两个直线边是嵌放在槽中，所以前节距 y_1 应等于整数。为了使线圈能产生尽量大的感应电动势，要求 y_1 大约等于一个极距。若刚好等于一个极距的叫整距，大于一个极距的叫长距，小于一个极距的叫短距。短距绕组的端接长度较小，同时可改善电动机的换向，因此被广泛的采用。

（2）合成节距 y　一个绕组元件和紧连接着的另一元件的对应边在电枢表面上的距离，称为合成节距，一般用槽数表示，或用换向片数表示。

（3）换向节距 y_k　线圈的两个端头接在换向器上的距离，称为换向节距，一般用换向片数来表示。

（4）后节距 y_2　又称第二节距，一个线圈单元的下层边与同它相连的第二个线圈单元的上层边之间沿电枢表面跨过的距离，称为后节距，可用槽数也可用换向片数来表示。单叠、单波绕组的节距如图 3-12 所示。



a) 单叠绕组　　b) 单波绕组

图 3-12　单波、单叠及蛙式绕组的节距

在单叠绕组中，线圈元件的两个线端接到两个相邻的换向片上。那么第一个绕组元件的两个端头接到换向片 1 和 2 上，紧接着第 2 个绕组元件的首端与第一个绕组元件的尾端相连，并一起接到换向片 2 上，绕组元件边放在与第一元件边相邻的槽 2 中。其尾端接在与首端相邻的换向片 3 上，依此类推，电枢绕组就是这样一个一个叠上去的，所以称为叠绕组。如图 3-12 所示的单叠绕组是向右一个一个叠绕上去的，称为右行绕组，此时 $y = y_k = 1$。如果绕组是向左叠绕，则其端线连接是交叉的，从制造工艺及耗铜量考虑，一般不采用。

对单叠绕组，其节距有以下关系：

$$y = y_k = 1 \qquad y_1 = \frac{K}{2p} \pm \varepsilon_k$$

$$y_1 = y + y_2$$

式中　ε_k——使 y_1 凑成整数的一个分数，ε_k 常取负的分数，这时 y_1 就小于极距，称为短距绕组，实际电动机中大多采用短距绕组。

图 3-12b 示出单波的节距图。单波绕组每一个绕组元件的始端和末端要接到相距约为两个极距的换向片上，此时节距有以下关系：

$$y_1=\frac{Z}{2p}\pm\varepsilon_k=\frac{K}{2p}\pm\varepsilon_k\ （当 Z=K 时）$$

$$y_k=\frac{K\pm1}{2p}$$

$$y=y_k$$

$$y_2=y-y_1$$

第二个绕组元件与第一个绕组元件的对应边之间的距离即合成节距 y 约等于两个极距，它们处于相同极性的两个主极下面，其感应电动势的方向是相同的，可以相加。当依次串联 p 个线圈，在电枢表面环绕一周以后，其末端要接到第一个绕组元件的始端所接换向片 1 的相邻的换向片上，以便第二周继续绕下去。在 y_k 的计算式中取“－”号，则绕一周后就落到起始换向片的左边一片换向片上，称为左行绕组。

蛙式电枢绕组的叠绕组和波绕组的元件数相等，相隔 K/p 片的两换向片为等电位点，叠绕组与波绕组互相起着不同的均压作用，不需要另装均压线。

特殊型电枢绕组形式中，异槽式叠绕组在牵引电动机中也有所使用，它的电枢绕组构成的特点是，由 U 个绕组元件的上层边并列嵌放在同一个槽内，而其下层边则分别置于相邻的两个槽内，此时，同一个槽内参加换向的绕组元件数便有所减少，换向元件上层边间的互感与下层边间的互感波形不同，电抗电动势的波形较平坦，降低了同槽中参与换向的绕组元件的叠加后的总电势。任一元件换向结束时，均存在同槽短路元件的阻尼作用，因此对电动机的换向有利，适用于换向困难的电动机。同槽式和异槽式电枢绕组如图 3-13 所示。

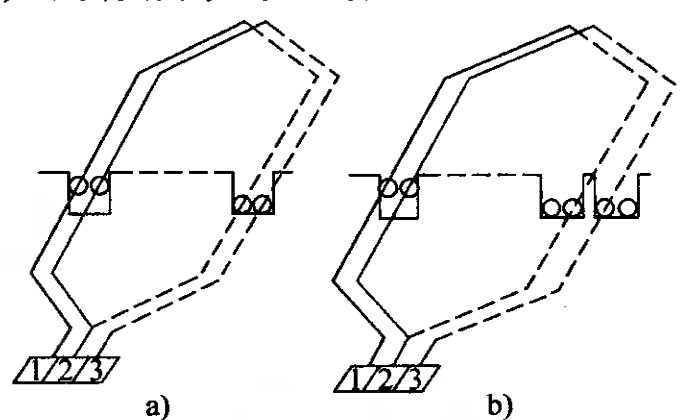


图 3-13 同槽式和异槽式电枢绕组

四、电枢轴承的烧损及防止

铁道干线上的直流和脉流牵引电动机的工作环境和工作条件非常的恶劣和困难，作为关键部件之一的电枢轴承，长期处在高负荷、高转速和高温度的情况下工作，因此一直是牵引电动机机械故障的主要部分，电枢轴承的工作可靠性和寿命，至少受到下列因素的影响。

（1）轴承类型的正确选择 国产牵引电动机常用以下三种类型的滚动轴承。第一类是内圈无挡边的单列向心短圆柱滚子轴承，如 32000 型，相当于西欧的 NU 型。其优点是可以分别安装其内圈及带滚子和保持架的外圈，但轴向位移在结构上不能限制，因此不能承受轴向负荷，常用作单侧传动时小齿轮端的电枢轴承，如 DF4 型轴承，牵引电动机 ZQDR-410 用的 32426 型即是。第二类是内圈有单挡边的单列向心短圆柱滚子轴承，即 42000 型，相当于西欧的 NJ 型。该轴承的内圈及外圈能分开安装，并可限制定

子与电枢之间一个方向的轴向位移且承受少量的轴向负荷。常用于双侧传动牵引电动机的电枢轴承，例如 ZQ650-1 及 ZQ800-1 型牵引电动机用的 4E42328EQT 型短圆柱滚子轴承。第三类是单挡边并带平挡圈的单列向心短圆柱滚子轴承，即 92000 型，相当于西欧的 NUP 型。能限制两个方向的轴向位移和承受不太大的双向轴向负荷，常用于单边传动的非传动端，如 ZQDR-410 电动机用的 92417 轴承。

（2）足够的工作寿命及合适的工作参数　在设计铁道干线直流和脉流牵引电动机时，都必须进行轴承工作寿命的计算，轴承型号的大小与轴承寿命是互相矛盾的。轴承型号选得较大，其工作能力系数也大，但是其允许的最大转速会随之降低，而且在有限的轴承安装位置尺寸范围内，也会引起电动机内部轴向及径向布置的困难，特别是对通风的风道及铁心长度的影响尤为显著。轴承的寿命计算较复杂，也难以很精确，除了受到齿轮传递时产生大的弯矩及可能的轴向力的作用外，还要考虑到在气隙中产生的单边磁拉力及挠度的影响。如对 ZQDR-410 传动端 42326 轴承寿命计算，其工作寿命为 3600 多小时，以每小时走行 100km 计算，即运行 30 多万公里，该轴承理论上不会损坏。单边磁拉力的计算值为 348kgf（≈3480N）。

（3）正确合理的轴承配合及游隙　首先是轴承内圈与轴的配合，牵引电动机电枢轴承选用较大的过盈，以保证在严重的振动和冲击条件下，内圈与轴之间仍有可靠的结合，不发生轴承内圈的“弛缓”而引起轴的磨耗和损坏。当然过盈量也不能太大，否则易导致径向游隙的过分减小，引起内圈装拆的困难甚至使内圈损坏。以 4E42328EQT 轴承为例，按规定转轴轴径尺寸为 $\phi140^{+0.052}_{+0.025}$，轴承内孔加工尺寸为 $\phi140^{+0}_{-0.025}$，这样配合的过盈量范围为 0.025～0.077，这是设计选定的一个合理正常的过盈值，是必须保证的。实践中发现，由于一些非正常的原因，个别轴承内圈的尺寸上下偏差达 ±0.05 范围，造成轴和内圈过盈量过大或过小甚至为间隙配合。过盈量大会使轴承组装间隙减小，运行时发热量增加；过盈量小或出现间隙配合时，在电动机运行过程中，轴承温升使内圈膨胀，内圈和轴之间紧固力减少，在交变负荷的作用下，将会产生内圈绕轴移动的爬行现象。由于内圈和轴之间无润滑剂，这就势必导致严重发热，继而使润滑脂稀化、流失、干涸，甚至使滚动体和内圈及轴表面的金属熔化。当电动机停止转动冷却后，滚动体、内外圈及电枢轴熔焊在一起，电动机无法转动。

电枢轴承的外圈和轴承座（端盖孔）之间的配合，也较一般工业用的电动机紧一点，大多为有小量过盈的无间隙配合，在轴承装配时以轻轻压入为宜。

我国铁路牵引电动机用轴承有较特殊的热处理和游隙的要求。热处理要求是指轴承零件较高的回火温度，其套圈的回火温度为 200℃ 或更高一点，这是为了提高冲击韧性，使牵引电动机能承受较大的冲击振动。还因为内圈与轴配合过盈大，轴承安装和拆卸时加热温度高的需要。轴承内圈采用贝氏体淬火工艺后得到的贝氏体组织，具有很高的强度和韧性，较高的抗冲击、抗裂纹的力学性能，并能保持良好的耐磨性和尺寸稳定性，特别适用于承受耐冲击负荷或在润滑等不良条件下工作的轴承零件。

电枢轴承的径向游隙直接影响轴承滚子的运动状况，对轴承的使用寿命和可靠性影响很大。

（4）控制轴承的振动与噪声 人们期望通过对轴承的振动和噪声的判断，来确定轴承的质量状态，预防失效。但是轴承的振动和噪声的现象相当复杂，要制订一个明确而又切实可行的标准，目前是有很大困难的。

振动和噪声是紧密关联的，噪声是振动的一种表现形式。通常耳听后对噪声的感觉来判断轴承的技术状态，虽然非常简单可行且已被广泛采用，但是由于只是凭耳朵的听觉而不是凭数据说话，受检测人心理因素及周围环境的影响，所以在生产现场作出判断是不够科学的。目前已研制出多种利用轴承振动来检测轴承的装置，如瑞典的 SPM 型轴承振动脉冲测量仪、日本的 FK 型轴承诊断装置等。我国上海星晟科技有限公司研制成多种振动、噪声测试仪，通过对振动体不同部位的测试，对振幅及振动加速度均可在现场进行测定并连接电脑进行存储和记录，使用也较为方便。

（5）重视轴承组装后的状态及已使用后的技术状况 轴承初期故障如不及时发现和处理，会迅速扩大造成烧损，这时就很难确定故障的原因。如果能通过某些诊断手段，及时掌握轴承的技术状态，由此判断出轴承的剩余使用寿命，这对经济效益是很可观的，意义是很巨大的。

目前我国检测轴承技术状态的主要方法是听轴承的声响、测量运转后的温升、检查径向游隙及端面跳动等。实践证明，这些方法还是行之有效的，测试方法和仪器也在不断的创新和发展中。

（6）良好的润滑条件和维护 润滑剂是指在摩擦副之间加入某种能起到减小接触面间摩擦阻力的物质，对牵引电动机电枢轴承的润滑脂基本要求是理化性能稳定、高的氧化安定性、机械安定性和胶体安定性、抗水性好、黏度和稠度少受温度的影响、不含机械杂质和锈蚀、能在 100℃左右工作，目前使用最多的是 3 号锂基脂。第一次的加脂量及第二次补脂量应严格按各种不同型号电动机的规定，一般是将轴承内外圈及滚子间的空隙填满以后，轴承室空间应填充 1/3 ~ 1/2 的润滑脂为好。绝不能是越多越好、越勤越好。

（7）科学合理的安装和拆卸 在解体电动机时，应避免轴承受损。当轴承内外圈分离时务必做好记号，因为轴承内外圈是不可互换的。内圈保留在轴上，应尽快清洗干净，去除油污异物后刷防锈油，最好加上保护套以避免碰伤。清洗轴承滚道和滚子表面的清洗剂应选能完全挥发、不留油渍的溶剂，如无铅汽油、混合二甲苯或无残留物的 200 号溶剂油（即俗称松香水或白节油），应避免使用煤油。新轴承在出厂时均已经清洗和加油，在装配前不必再次清洗。

轴承安装一定要有清洁的环境和必要的工具。端盖轴承室和轴颈配合面上除要进行尺寸公差和形位公差检查合格外，外观上应无锐边及伤痕，所有的配合面上应涂一层油。加热内圈的温度应控制在 120℃以下，外圈在冷态下必须均匀受力地压进轴承室，应用螺旋压入器等工具，决不允许单点锤击。为保证轴承内圈受热均匀，最普通采用油浴加热器或感应加热器，加热元件要有恒温控制。直接把轴承放到油中去煮不是正确的加热方法，因极易发生局部过热。对于 32000 和 42000 等内圈无挡边或仅一侧有挡边的轴承，可采用感应加热器，此时应注意必须将加热的轴承件正确消除剩磁。多台电枢轴

承一次性同时装配时，务必记住内、外轴承圈必须原配安装使用，搞混后将会使滚道的径向游隙不符要求。

经研究分析，轴承烧损故障的根源主要在以下三个方面。

①轴承装配不当，尤其是内圈过盈量太小，容易引起内圈松动，从而导致轴承过热、烧损。

②轴承制造质量欠佳。

③在日常运行中润滑脂添加不当。润滑脂过多时，轴承温升增加，润滑脂变稀外溢甩出，影响润滑效果；润滑脂过少时，因干摩擦引起轴承高温，烧损轴承。

轴承烧损故障涉及因素很多，而且处于动态之中，情况复杂多变，必须从制造、检修、使用保养、配件质量等各个环节加以严格控制，才能减少电枢轴承故障的发生。

下面主要以 ZQDR-410 牵引电动机为例，结合现场各方面的实际情况，提出预防电枢轴承烧损的措施。轴承故障的主要症状有滚动体裂、拉伤、疲劳剥离掉块、锈蚀；外圈拉伤；内圈拉伤、裂、锈蚀；保持架松动、铆钉断头、体裂、体磨旷；内外圈和滚子卡死；内外圈、滚子和轴颈咬死、熔成一体等。针对以上故障症状采取各种相应的措施如下。

（1）严格控制轴承的游隙（见表 3-7） 电动机轴承要维持良好的运转，必须有合适的均匀间隙。电动机装配后的轴承游隙称为配合游隙，是电动机运转时的真正的游隙，配合游隙过大或过小，都会使轴承损坏。合适的原始游隙是配合游隙的保证。因此原始游隙和配合游隙均要进行检查，常用的办法是用塞尺即厚薄规。配合游隙总是小于原始游隙，首先是由于轴承内圈的过盈配合而使游隙减小 Δl，一般可认为

$$\Delta l = \delta \frac{d}{d_K}$$

式中 δ——内圈过盈量（μm）；

d——内圈内径（mm）；

d_K——滚道直径（mm）。

表 3-7 轴承配合游隙

牵引电动机型号	轴承代号	原始游隙/mm	配合游隙/mm
ZQ650-1 ZQ800-1 两端	4E42328	0.135～0.165	0.08～0.110
ZQDR-410 传动端 ZQDR-410 非传动端	E32426 92417	0.135～0.165 0.105～0.125	0.09～0.140 0.06～0.105
ZQDR-410C 传动端 ZQDR-410C 非传动端	E32330 62318	0.15～0.18 0.105～0.125	
GE752AF8 传动端 GE752AF8 非传动端	NU330EP6 NH320	0.15～0.18 0.105～0.125	0.12～0.16 0.07～0.10

（续）

牵引电动机型号	轴承代号	原始游隙/mm	配合游隙/mm
ZD109 非传动端	62318	0.105 ~ 0.125	
ZD109 传动端	32330	0.15 ~ 0.18	
ZD106 传动端	32330	0.15 ~ 0.18	
ZD106 非传动端	62318	0.105 ~ 0.125	
GDTM533M 传动端	4G32424	0.12 ~ 0.145	
GDTM533M 非传动端	3G3618T	0.105 ~ 0.125	
ZD115 传动端	NU332	0.15 ~ 0.18	
ZD115 非传动端	NH322	0.12 ~ 0.145	

此外还要考虑和估算轴承外圈和轴承座的过盈、端盖和机座止口过盈、内外圈在轴承工作时温差引起游隙缩小、轴及轴承室的变形、不平度等形位公差引起游隙缩小，所以一般配合游隙要小于原始游隙 0.05mm 以上，极限时可达 0.08 ~ 0.10mm。

（2）润滑脂注入的控制　润滑脂必须清洁，不干净混有杂质，特别是坚硬杂质会造成轴承非正常磨损，引发轴承故障。润滑脂填充量必须适当，太少、缺油当然不好，但太多时，润滑脂搅拌发热也会变稀甩出，最好按设计要求量注入。

（3）严格控制轴承加热温度　不得超过 120℃，并最好不使用电磁加热，因其温度控制困难，应采用油浴加热或电热恒温箱加热。

（4）加强轴承装配尺寸的选配，尽量选用较合适的过盈量，避免极限公差尺寸下的装配。表 3-8 推荐几种牵引电动机轴承内圈配合过盈量的范围。

表 3-8　几种牵引电动机轴承内圈配合过盈量范围

牵引电动机型号	滚动轴承型号	过盈量/μm
ZQDR-410 传动端	32426QTU	35 ~ 75
ZQDR-410 非传动端	92417QTU	25 ~ 45
ZQ650-1 两端	8E42328EHT	35 ~ 75
ZQ800-1 两端	8E42328EHT	35 ~ 75
ZQDR410C 传动端	E32330QTU	40 ~ 65
ZQDR410C 非传动端	62318QTU	30 ~ 50

轴承外圈与轴承室之间设计为过渡配合，其中 92417 轴承外圈与端盖轴承室内孔之间有可能产生小的过盈，也有可能产生小的间隙，32426 轴承也一样，配合分别为 -0.010 ~ +0.016mm 和 -0.075 ~ +0.018mm。现场发现，轴承外圈发生松转现象较多。大修工艺规定，轴承外圈与座孔之间的间隙控制为 0.035mm，超过时端盖轴承室孔要进行涂镀处理，但是经涂镀后的孔尺寸公差及形位公差很难掌握，因而装配后轴承外

圈与端盖轴承孔之间易出现局部过盈，使装配后的径向游隙减小而导致轴承过热烧损。

（5）加强日常的检修和维护保养，严格执行轴承的检验领用制度，严格轴承装配的工艺，尽力减小铁道线路的冲击及牵引电动机本身的轴向窜动量，尽力为电枢轴承的正常可靠运行创造优良的外部环境。要经常关注传动齿轮的啮合情况，防止齿轮油窜入电动机轴承室，定时定量注入新的润滑脂，通过以上措施，电枢轴承故障一定能大大减少。

五、换向器环火故障的原因及防止

牵引电动机换向器上发生环火是指正电刷与负电刷之间通过换向器工作表面被很长的、强烈的电弧所短路。在产生环火的那一瞬间，电动机发出巨大的响声，所以环火又被俗称为“放炮”。出现环火时，电弧可能由换向器表面扩延到换向器外侧的前压圈，甚至磁极铁心和机壳，使电动机接地。所以发生环火就相当于电枢绕组经过电刷而直接短路，其后果十分严重。轻者将刷架连线、电刷、刷杆、刷握和换向器烧坏，重者将电枢绕组损害，以致将整台电动机、机车电器烧损，严重环火发生时还将导致轮、轨严重擦伤。

牵引电动机换向不良甚至环火的原因如下：

（1）轮对空转与小齿轮脱落、磨损　机车在起动或运行中，由于黏着情况变坏等原因，往往发生轮对空转现象。由于轮对空转使电动机转速升高，造成片间压降过高，从而产生电位火花，引起换向故障。轮对空转的危害是很大的，它不但引起换向故障，而且导致牵引力下降、轮对磨耗，甚至使电动机环火而造成更大的破损。

运行中电动机轴伸上小齿轮脱落，也会造成电动机转速飞升，其产生的电位火花往往引起环火和电动机烧损。

以上两种情况均会使电动机整个换向器表面烧黑。

（2）电刷位置偏离中性线位置　由于牵引电动机的工作环境恶劣，振动剧烈，容易引起刷架的松动，使电刷位置偏离中性线，从而使电动机换向超前或延迟，产生换向火花，结果使换向器表面呈黑蓝色，电刷刷边有烧痕。

ZQDR-410 型牵引电动机采用开口式刷架圈结构，利用涨紧螺栓和定位块将其固定在机座止口中，这种结构对于检修部门更换刷架、调整电刷中性位提供了方便，但也留下了隐患，机车运行中，由于振动和换向器的高速旋转，这种开口式刷架圈时刻产生周向移动的趋势；刷架圈涨紧螺栓松缓，定位螺钉被折断后，刷架圈在机座止口中产生周向移位、窜动，电刷偏离中性位，导致换向恶劣，最后形成环火。

（3）电刷随动性不良，甚至卡死　ZQDR-410 型牵引电动机工作时，电刷在压指弹簧作用下与换向器保持一种动态的随动接触。它的好坏直接关系到电动机换向火花的大小，而随动性差的电动机就会导致电动机环火。进入牵引电动机内部的油、灰尘与潮气、炭粉等杂物一起将电刷与刷盒之间的间隙填满，电刷在刷盒内卡滞，失去随动性，电动机工作时产生火花直至环火。

（4）换向极固定螺栓外径偏小或紧固力不够　在机车运行振动大时，螺栓松动、脱落，造成换向极气隙改变，换向极磁势补偿不良而导致换向火花增大甚至环火。此外

换向极极间连线及引出线固定卡子处绝缘薄弱或绑扎不牢，严重时绝缘击穿被烧损，有时主极绕组和补偿绕组绝缘损坏，引起换向不良甚至环火。

（5）换向器工作表面粗糙甚至严重损伤 粗糙度规定为 R_a1.6 以上，在此条件下才能够保证电动机运行时，因电刷作用在换向器表面会形成一层氧化亚铜（Cu_2O）薄膜。由于氧化膜电阻较高，抑制了附加换向电流，有利于换向。一旦因加工精度不够或因划痕等使换向器表面粗糙度超差，则电刷磨耗过大，有大量的炭粉磨落下来，换向器表面的氧化亚铜薄膜遭到严重破坏而不能交替形成。从而，电动机的换向急剧恶化，以致形成环火。

（6）其他原因 如不正确地使用逆电制动、齿轮齿形过度磨损、电动机通风道进油进水（如东风4 机车第4、5 位电动机）、电刷牌号混用、电刷长度不一致、电刷受潮引起加剧磨损以及对 ZQ800-1 型牵引电动机在调压开关低级位时使用磁场削弱等。

针对以上原因，采取了各种不同的行之有效的措施，防止环火发生。如购置了牵引电动机负荷试验设备，段修时，对电动机进行负荷试验，调整好牵引电动机的各种电磁特性，特别是进行了换向极补偿品质的调整及在大电流、高转速及各磁场级下的换向试验，使修后电动机的品质得到有效的保证。

在近几年的调查中发现，使用磁削的机车乘务员中，客运机车乘务员占大多数，货运机车乘务员使用磁削的人数比例相对较少，但这一比例上升很快。部分货运机车乘务员由于对磁削原理不了解，因此很少使用，甚至有个别机车乘务员从未使用过磁削，但目前由于客观环境的需要，货运机车乘务员也开始大量使用磁削来满足运行要求。

造成货运机车乘务员开始大量使用磁削的主要原因有以下几点：一是机车乘务员劳动计酬方式的改变，二是机车牵引定数的不断增加，三是上级对列车运行正点率的严格考核及贴限运行的要求。这些改革措施的逐步深入，导致机车乘务员在运行中越来越注重列车的运行速度，因此频繁使用磁削便成了部分机车乘务员提高运行速度的常规手段。

目前在部分机车乘务员的操纵方法中存在一些不良习惯，特别是对磁削的使用，存在一些错误的认识。

（1）不当操纵习惯的原因 引起机车乘务员形成不当操纵习惯的主要原因是对磁削的认识存在误区。目前在使用磁削的机车乘务员中，客运机车乘务员相对比较规范，而货运机车乘务员对磁削的使用水平则是参差不齐，使用时机也比较混乱，甚至有个别机车乘务员在机车处于满负荷、额定电压、额定电流、长大上坡道上使用磁削，也有个别机车乘务员在机车速度较低时使用磁削。造成错误使用磁削的主要原因，是机车乘务员对磁削的认识存在欠缺，甚至有个别机车乘务员认为，只要使用磁削，机车运行速度就能得到提高，片面认为磁削是以提高牵引电机的转速来增加牵引电机的运用功率，因此认为只要使用磁削，机车运行速度就会相应增加。

（2）不当操纵习惯的影响 造成机车牵引电机环火的原因很多，其中与电机质量、接触网网压波动、恶劣的外部运行环境等因素关系密切，但机车乘务员在日常操纵中对磁削的频繁使用、甚至对磁削的错误使用，也给电机环火造成了不可忽视的影响。因此

当前提高机车乘务员对磁削的正确认识，规范机车乘务员对磁削的使用，纠正机车乘务员在操纵过程中的不良习惯，从运用角度来讲，对防范机车牵引电机环火，以及通过正确手段提高列车运行速度，适应外部运行环境的要求，有着极为重要的意义。

六、电枢修理后无纬带的绑扎

在各种牵引电动机电枢修理时，由于原电枢两端绑扎的无纬带已经损伤或者要更换部分电枢线圈，此时就必须拆除原绑扎的无纬带，电枢线圈更换或重嵌完成经检查合格后，还需重新绑扎无纬带，此时有一些问题需引起注意。首先应注意原绑扎无纬带的总宽度及厚度，是否高出电枢铁心外圆，固化良好的无纬绑扎带是一个坚实的整体。例如对于410kW 牵引电动机电枢，无纬带绑扎要求前端和后端绑扎厚度为4.5mm，绑扎宽度分别不小于120mm 和100mm，这样无纬带应力的计算值后端已达到2790kgf/cm^2，当安全系数取为2 时，在130℃下，无纬带抗张强度的许用应力为3000kgf/cm^2，所以计算值已十分接近许用值。为此要求绑扎工艺必须严格按无纬带的基本要求执行，如绑扎时无纬带的拉力、绑扎的宽度及厚度、绑扎后的固化条件等，因为这些基本要求不满足，就有可能使无纬绑扎带难以满足应力要求，有可能产生绑扎松脱而造成飞箍的严重后果。无纬带重绑时，要注意后鼻端最外侧处绑扎的工艺性，宽度过宽、外侧处太薄、层数太少，会使该处的绑扎易滑脱。所以在重绑时，除尽量绑扎足够的匝数外，还要使后鼻最外侧处绑扎足够的层数及匝数。

七、用 TY、TA、TZ 仪器对电机绝缘的状态检测

1. TY 型绝缘检测仪

我国机车牵引电动机在运行中发生接地故障的比例，约占总故障台次的1/3 以上。在对已检修过的电枢进行交流耐压试验时，被击穿的比例相当高，从而造成了很大的经济损失。上海铁道学院与江苏无锡太湖电表厂研制并生产的 TY 型绝缘检测仪，成功地解决了这一难题。侵入牵引电动机绕组绝缘层深部的炭粉、污垢及导电材料微粒，在高的电场强度作用下，发生电离放电现象，使这部分气隙短路，因而使传导电流迅速增大或是呈现不稳定状态，使表明绝缘层内部存在严重的机械破损裂缝。由于电枢在加有直流高压时，一般泄漏电流是属于微安级，即使集中流过一个部位，也不会造成绝缘材料过热、烧焦等现象，加上该仪器内部的保护措施，所以直流高压检测法是一种无损检测法，并不会对电枢造成危害性的后果。在直流高压试验时，观测泄漏电流的变化情况，是检查分析电枢绝缘的一种行之有效的方法。这种变化关系称之为伏-安特性曲线，可分为以下四种类型。

（1）正常型　伏-安特性呈线性变化，在施加规定直流电压时，冷态下的泄漏电流值低于50μA，这类电动机情况比较正常，一般可以保证安全使用。

（2）脏污潮湿型　伏-安特性也呈线性变化，但泄漏电流上升很快，在施加规定的直流电压时，泄漏电流大大超过50μA，可达300～500μA，甚至更高。此类电枢如进行常规交流耐压试验，工频50Hz 时，高压根本加不上去或发生击穿。经验证明，当直流高压达4000V（相当于交流耐压1800V 的2.2 倍），泄漏电流控制在50μA 以下是合适的，电枢清洗、浸漆、烘燥等均按工艺认真做到后，这个要求是合理的。当然50μA 也

不是绝对的，不同的地点，气候不相同，电枢有大小，木质绝缘有优劣，因此也可做小量的调整。

（3）拐点型　泄漏电流刚开始也有呈线性变化的趋势，但在施加电压上升到一定值时，泄漏电流增长幅度加大，伏-安特性曲线有一个明显的拐点区。这种情况表明，牵引电动机内部绝缘已磨损变薄，当电压加到足够大的值时，在相对较强的电场作用下，绝缘材料中的离子运动加剧，使体积传导电流有突然性的明显地增加。

（4）爬电放电型　当施加的直流电压上升到一定值时，伏-安特性突然由线性关系变为非线性关系，直流泄漏电流在一定范围内波动，检测仪上微安表指针摆动，甚至可听到内部火花放电的轻微响声。这表明牵引电动机绝缘存在明显缺陷，电动机内部绝缘表面发生爬电，使表面泄漏电流突然增加，也可能是电动机内部绝缘间气隙在高电场强度下电离放电，泄漏电流发生较小的波动。四种伏-安特性变化曲线如图3-14所示。

牵引电动机电枢及定子的接地故障，主要是由于各种因素所造成的绝缘材料机械损伤所致。检修时，应对定子及电枢分别进行清洗及真空干燥烘干，尽量彻底地冲洗掉绝缘材料裂缝内的导电粉末，再度浸漆所形成的漆膜既可对绝缘材料裂缝进行弥补，又可对绝缘材料起保护作用。

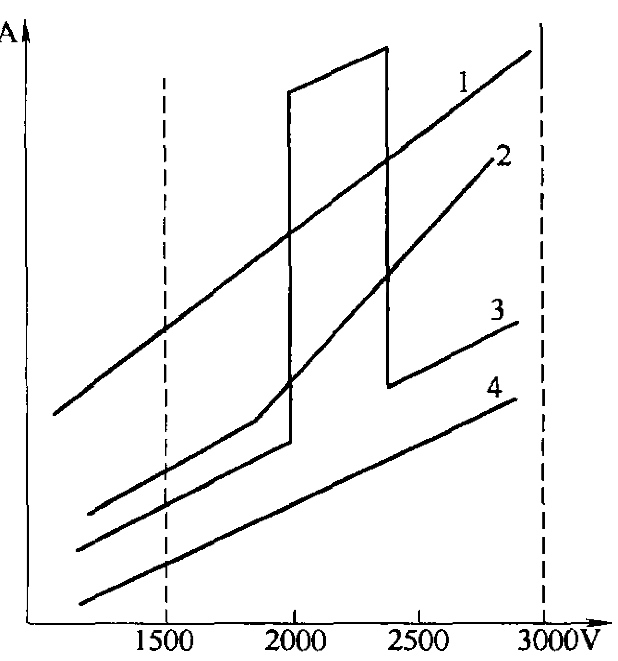


图3-14　伏-安特性变化曲线
1—脏污潮湿型　2—拐点型
3—爬电放电型　4—正常型

目前生产的TY型绝缘检测仪，直流输出电压高达10～15kV，泄漏电流在0～1000μA（分挡），完全可满足各类电气设备的主绝缘进行无损检测的要求。通过本仪器的检测，根据泄漏电流变化的趋势来判断电动机绝缘内部的状态和损伤程度，而又不会扩大已经存在的损伤和故障状态，因此是一种非破坏性的试验方法，完全可以推广使用。

2. TA型便携式电动机匝间耐压检测仪

该仪器适用于检测直流电动机电枢线圈的匝间耐压和匝间短路故障，特别适用于检测阻抗值相当低的单匝电枢线圈的匝间绝缘状态。

该仪器采用脉冲放电原理，产生100～500V的脉冲电压（幅值），且电压连续可调，供用户选择，将此脉冲电压加到换向器的相邻的两换向片上，即可对匝间进行检测。实践证明，对中、大功率的牵引电动机电枢，当匝间试验电压达300～350V以上时，暴露电动机匝间隐患的功能远较中频机试验法为好，比采用电压降法和短路侦察器法更有效。

该仪器的主电路原理（见图3-15）主要分为半波充电电路和电容-电感（被试线圈）放电电路两部分。

该仪器产生的脉冲电压直接加在相邻两换向片间，判断及查找故障简便。不用示波

器，仪器体积小、重量轻、效率高、便携、噪声小，对电枢匝间绝缘无损伤。通过检测，可清除电枢换向器上相邻换向片间与匝间的导电污物，可查找应用氩弧焊机焊接后的换向器片间短路点。

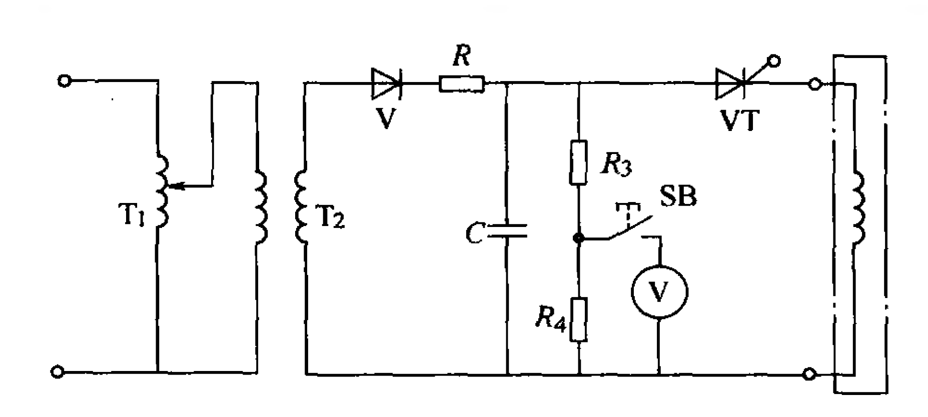


图 3-15　TA 型匝间耐压检测仪主电路原理

3. TZ 型接触电阻检测仪

采用检测换向器片间电压降的方法，实践证明并不完善，因为此时要通入一个电流，而加在换向器上的电压又没有稳压措施，因此对片间电压降就有一定的读数偏差。一般较大功率的牵引电动机，大多采用带有均压线的单叠绕组，使电枢绕组形成一个更为复杂的网络，使片间电压降值产生更大的误差，这些误差将使判别电枢绕组实际存在的故障更为困难。

用 TZ 型接触电阻检测仪来测量换向器的片间电阻值，可快速而准确地直读 2μΩ 以上的低值电阻，工作稳定可靠，与常用的双臂电桥相比，可节省大量操作时间。TZ 仪器的两支测笔压向被测点即可，笔与被测表面间的接触电阻并不影响测试数据。

实践中，用 TZ 仪器对 ZQDR-410 电枢升高片氩弧焊后进行片间电阻的检测，测量若干个片间电阻的平均值为 $R_{均}$，某一个相邻片间电阻值为 $R_{片}$，则 $(R_{片}-R_{均})/R_{均} \leqslant 4\%$，则认为氩弧焊的焊接质量可以接受，这一百分值比普通锡钎焊降低了 50%。本仪器采用四端测量法，可替代双臂电桥进行所有需要进行低电阻测试的场所。

八、提高电动机机械质量的方法

牵引电动机的机械质量问题可以归纳为“松”、“漏”、“裂”、“断”、“偏” 5 个方面，即便是复杂的电动机故障，经过分析，其故障原因大多也是归结于此。除了工作疏忽的原因外，这些问题主要与电动机的制修工艺有关，此外还涉及材料、机械结构设计以及电动机周边设备的运行。针对影响电动机机械质量比较突出的具体工艺环节，可以从以下几个方面分析探讨。首先是金属材料的疲劳损伤引起的机械质量问题。

（1）引出线和连线断开　这是最常见的一种电动机故障。在工作状态下，引出线和连线除了受到振动和电磁力等外界应力作用外，其内部应力不容小视。制造安装时的偏差、热胀冷缩以及铜线与绝缘材料之间线胀系数的不同，都将在铜线内部产生较大应力。采用软连线的方式对消除连线内部应力取得了一定成效，故障率大幅下降，但仍不能杜绝。最好的办法是增设卡子，使引出线和连线每隔一定距离都有在机座上的固定

点，至少要在危险截面处增设卡子，目前已经有机务段提出检修时增设卡子的要求。

（2）齿轮啮合不良　振动是造成电动机部件损伤的主要原因之一，轴伸根部、铜线转角、支架等处的裂纹和刷架圈、轴承等部件磨损都与之有直接关系。齿轮啮合不良是引起振动的重要原因，它有两种情况：一种是齿面磨损造成的齿形失真；另一种是齿轮及其相关部件安装偏差过大。虽然在齿轮的加工和安装找正方面有许多工艺保障措施，但是出于金属材料、机车运行环境和检验标准等方面的原因，齿轮啮合不良还不能从根本上消除，在运行和检修时要注意对齿轮状态和相关裂损部件进行检查。目前对裂损部件检查普遍采用磁力探伤方法。该方法在对部件裂损程度的判断上有一定局限性，因而应考虑逐步采用超声波探伤法。

（3）部件拆卸时造成的机械损伤　不当的拆卸是造成电动机部件损伤的另一个重要原因。牵引电动机经过真空压力浸漆处理，部件拆卸相对困难，不良的解体工艺很容易造成铜线裂伤、螺栓裂纹、配合面拉伤以及部件变形等严重后果。对此，一方面要改进电动机解体工艺，尽可能地利用专用工艺装备进行部件拆卸，避免摔、砸、撬等原始作业方法；另一方面要加强拆卸前、后部件的质量检查，及时发现损伤部件，以便更换或修补。

牵引电动机在修理时装配质量引起的问题：

（1）互换性问题　相同型号的电动机具有一定的互换性，但是由于加工偏差的存在，部件互换还是会对电动机性能产生一定影响。以牵引电动机为例，每台电动机的速率特性总是有一些差异，如果定子或磁极等部件互换，电动机的速率特性往往会发生较大变化。再者，小齿轮、联轴器、端盖等具有配合尺寸的部件，也往往会因部件互换而配合不良。因此，电动机检修应尽量坚持“原机原配”的原则，不要随意互换。

（2）过盈配合面的加工工艺　牵引电动机及其他辅助电动机的联轴器或齿轮，普遍采用无键锥度面过盈配合设计，由于机床加工精度满足不了锥度面配合的精度要求，装配前要对轴进行研磨或对锥孔进行刮配。相对来说，刮配工艺质量要优于研磨工艺：首先，机床对套件加工要比对衬件加工困难，配合尺寸偏差往往是套件尺寸偏差；其次，刮配属于点加工方式，而研磨属于面加工方式，刮配工艺的精度要高于研磨工艺；此外，从互换性角度考虑，尺寸配合应坚持以小件配大件、以次要件配主要件的原则。

另外，轴承内圈的热套工艺值得一提。由于涡流加热等方便快捷的加热方式被广泛采用，轴承内圈热套时经常温度过高，膨胀量过大。这样不仅会对其内部组织结构造成不利影响。在没有可靠的温度控制条件下，最好还是采用油煮加热方法，轴承内圈膨胀量不宜过大，应以专用工装轻轻压入或拉入为准，以铜棒轻轻敲入亦可。

牵引电动机在修理时应注意绝缘结构及动平衡与振动问题：

（1）电枢槽口部分设计改进建议　电动机绕组槽口部位的绝缘容易受到损伤，接地、匝间短路故障多发于此。为了方便对槽口绝缘进行补强，建议电枢铁心两端 10mm 左右的冲片采用大槽冲片，槽形尺寸比正常冲片单边大 1mm 左右，铁心叠压后在电枢槽口部位形成 1mm 左右的富余空间，用来安置高强度的 U 形槽口绝缘衬套。相应地，

槽楔设计和通槽工艺也要做一些修改。虽然这样会给铁心装配带来一定困难，但是电枢槽口绝缘得到补强，对于电动机可靠运行将十分有益。关于槽口部位铁心齿磁密增加对电动机磁路的影响，需要设计部门进行电磁核算。

（2）浸渍漆的脆裂问题　真空压力浸漆对于提高电动机电气性能和力学性能有十分明显的作用，但浸渍漆固化后其自身容易发生脆裂现象。漆层脆裂的主要原因在于浸渍漆与其他材料热胀系数不同，此外与振动也有很大关系。在浸渍漆化学性质不改变的情况下，要减少漆层脆裂现象发生，应注意漆层不能过厚。因为漆层过厚不利于传热，温度梯度较高；同时，如果漆层过厚，又没有玻璃丝坯布等补强材料，漆层的机械强度差，难以承受长时间的振动工况。因此，在绝缘结构的处理过程中，需要填充的空隙必须用玻璃布板、无纬带等材料塞实，利用浸渍漆填充无法塞入的细小空隙，但不能期望全部空隙以浸渍漆填充。同理，电动机表面漆层亦不要过厚。

（3）动平衡误差校正　电动机转子动平衡精度不仅取决于动平衡试验机的精度，其残余不平衡量与联轴器或过渡法兰的连接误差有很大关系。连接误差主要指联轴器的不对中和联轴器法兰面紧固螺栓紧力差别过大引起的误差。不对中所引起的强迫振动与转子不平衡量引起的强迫振动振型相同，动平衡试验时都会被试验机计算在内。动平衡后被试件转过180°再与试验机连接试验，以检验试验机误差，两次结果应差别不大或在合格范围内；平衡块焊牢后应再校一次残余不平衡量。

（4）轴系的平衡与对中　轴系不平衡力除了转子残余不平衡量外，还与联轴器的连接情况有关。以牵引发电机-柴油机系统为例，由于发电机端轴承位置无法调整，连接无所谓找正，只要止口吻合，拧紧螺栓就算完成连接。当出现螺栓吃力不均或止口松动的情况时，其效果相当于轴系连接偏差或不对中，容易引起机组大的振动。如果采用销钉连接取代螺栓连接，对轮打表找正后，重新铰孔，配销钉，能够从根本上解决螺栓吃力不均和止口松动的问题。虽然在工艺上麻烦了一些，但对于消除机组振动，减少联轴器螺栓断裂事故的发生有积极的作用。同样，对于空压机组、起动发电机等各类中小型电动机，也应考虑以刚性连接取代目前的弹性连接。

机械质量是牵引电动机整体质量的基础，机械质量问题表面看不大，不像电气故障那样立即造成电动机故障，但是却较多、较广，正是这样多而广的“小问题”制约了牵引电动机整体质量的提高。

九、轴伸端油封窜油的原因及改进

轴悬式即抱轴式直流牵引电动机传动端油封窜油是指电动机传动齿轮箱内的润滑油脂通过牵引电动机的轴伸及外侧油封窜入传动端的轴承，在稀释轴承润滑脂后再窜入电动机内部，常通称油封漏油。

电动机发生油封漏油，传动端轴承室内的润滑脂已被严重稀释，变成一种齿轮油与润滑脂的“混合油”。此故障分为轻度、重度。轻度的一般表现为减压孔处泄出“混合油”，但转子内部无油脂；重度的一般表现为传动端内油封处，靠近转子的地方有大量的“混合油”；特别严重时，定子主、附极及转子都沾满了“混合油”。定子线圈绝缘下降，润滑脂大量流失。油封漏油的过程为齿轮箱油经过电动机油封外端面开口处，通

过迷宫槽，进入轴承室，少部分进入减压孔排出，其他大部分经过端盖与轴套间隙进入电动机内部。即齿轮箱油→油封开口处→迷宫槽→轴承室→轴套（内油封）→电动机内部（见图3-16）。

齿轮箱油窜入电动机，使齿轮箱油位降低，需经常补油，严重时还会使大、小齿轮啮合缺油，齿轮磨损加快；齿轮箱油窜入轴承室，稀释轴承润滑脂，使轴承温度升高，润滑脂稀释严重时会使轴承烧损；齿轮箱油和轴承锂基润滑脂的混合物窜入电动机内部，污染电动机，降低电动机绝缘强度，造成机车高级位运行时，出现主绝缘接地现象，影响电动机寿命。

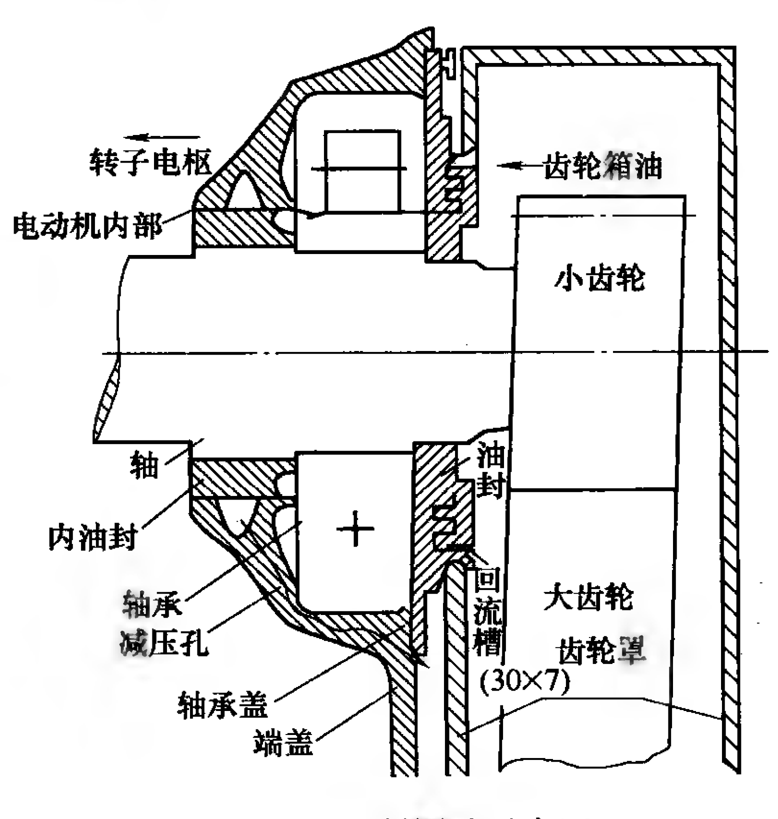


图3-16 油封漏油示意图

牵引电动机轴伸端油封窜油是一个大的惯性故障，是牵引电动机难以彻底解决的老大难问题，不但是在铁道干线的电力机车脉流牵引电动机和电传动内燃机车大牵引电动机中存在，在中小型的工矿牵引电动机，如ZQ-78、ZQ-52甚至低转速的ZQ-21、ZQ-24也同样严重存在。

曾在ZQDR-204牵引电动机的“老油封”结构上进行过大量试验，得到了以下结论。

1）ZQDR-204电动机上的简单轴套及油封结构的所谓“老油封”结构，在电动机高速运转11h后，传动端轴承即开始窜油，说明这种油封结构不能防止窜油。

2）在高速运转2h后，电动机传动端轴承的温升已到60K，拆检电动机发现轴承室内充满了轴承油脂和齿轮油的混合物，电动机传动端内各零部件的表面布满了黑色油垢。

3）测量牵引电动机传动端内部空腔为负压。在电动机后端有电枢线圈鼻部和电枢支架筋条，电动机前端有换向器螺钉和换向器套筒筋板，当电动机转动时，它们好似离心式风扇，使电动机内部轴承室附近的气压低于大气压，形成负压区。由于负压的作用会把齿轮箱内的润滑油吸入电动机轴承室，并进一步窜入电动机内部。正是这个负压，会对轴承室内的润滑油脂和齿轮油的混合物产生强力的“吸入”作用。

牵引电动机的静止部分与旋转部分在传动端轴伸处必须要有间隙，内外油封在轴向和径向也必须有足够的间隙，以保证在高速旋转时和轴向窜动时，不会发生卡擦现象，正是这些间隙和游隙，成为了发生窜油所必须的“通道”。此外，齿轮箱内高速运转的齿轮，使箱体内形成正压力区。机车在正常使用时，由于主、从齿轮啮合，以及齿轮箱内油的活动，往往产生热量，由于齿轮箱通气孔下侧有一块挡油板，齿轮箱内油基本沿着齿轮箱的形状活动，就像一个气球一样，形成一个密闭的“油泡”，为此造成通气孔

的作用不明显，齿轮箱内的热气无法及时排出，进而导致齿轮箱内的压力上升。

这样，形成一条完整窜油通道的三个必备条件，即齿轮箱内正压力的推力、电动机传动端内部负压区的吸力以及轴承室内外油封的间隙通道已全部得到满足，齿轮油便源源不断地窜入到电动机内部。

为了避免窜油的发生，应尽量从以下几方面采取相应的措施：

1）对牵引电动机的轴伸端轴承油封的结构改进。通常的方法是加装外挡板、增设内隔板及增加几道排油回油孔等。加装外挡板的目的是防止齿轮油非常方便地直接被压到轴伸上窜油通道的“入口处”，延长开始发生窜油的时间。加装内隔板的目的是增大窜油的阻力，有利于减小电动机内传动端的负压值。增加外油封处的排油回油孔槽的目的是使窜到窜油通道前端的齿轮油在进入轴承室之前，通过设在下方的排油孔槽流出到外界，尽力减少窜入轴伸室内的油量。为了增设排油回油的孔槽，轴承端油封的结构要变得复杂些，零部件多了，加工和装配的要求也较高，有些电动机不惜紧缩牵引电动机轴向布置的位置，使轴伸端油封部分的轴向和径向尺寸得以增加，以提高油封的防窜油的能力。图 3-17、图 3-18 为两种脉流牵引电动机轴伸端油封的结构图。

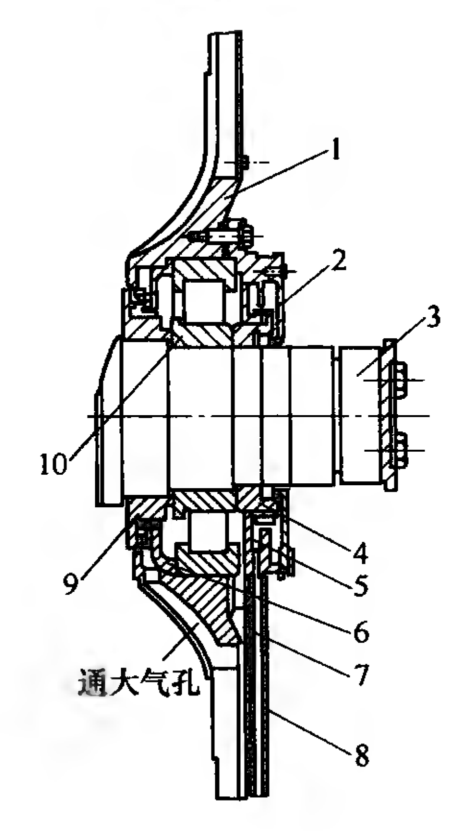


图 3-17　油封结构一

1—端盖　2—盖板　3—转轴　4—封环
5—轴承盖　6—内轴承盖　7—注油管
8—排油管　9—内油封　10—轴承

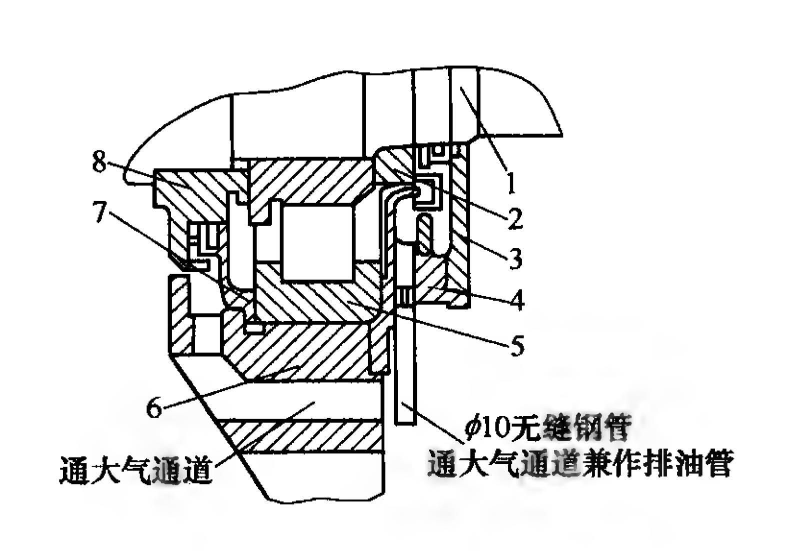


图 3-18　油封结构二

1—转轴　2—外油封　3—外盖
4—外轴承盖　5—轴承　6—端盖
7—内轴承盖　8—内封环

图 3-17 中，盖板 2 上开设有回油孔，若齿轮油通过盖板与轴之间的间隙进入轴承盖内部时，可通过回油孔回至齿轮箱内。轴承盖 5 的最下方有 3 个小孔，若有少量油通过封环 4 与轴承盖 5 的第一道封沟之间的间隙窜入时，可通过这 3 个小孔，经排油管 8 排出电动机外，以免窜入电动机内部。

图3-18中，当机车运行时，齿轮油沿着外盖3与转轴1之间的间隙进入外轴承盖内部，一部分沿外盖下端排油孔流回齿轮箱内，另一部分沿封环外壁及轴承盖内壁流进封环迷宫槽；当电动机旋转时，迷宫槽间隙形成一层油膜，阻止齿轮油进入轴承室内部。

2）齿轮箱体上方开设排气孔，在机车运行时，降低大小齿轮啮合高速运转时润滑油的飞溅及箱体内正压力的值。

3）牵引电动机端盖上开通大气孔，降低电动机内部负压区的负压值。

为有效防止牵引电动机轴伸端油封窜油情况的发生，在日常的维护和检修中，应尽力做好下列几方面工作：

①经常检查和关注牵引电动机端盖上方的通大气孔，确保通畅，不可堵塞。

②经常检查和关注齿轮箱体的排气孔，确保畅通，不可堵塞。

③经常检查和关注牵引电动机外油封处的多道排油孔，确保通畅，不可堵塞。

④要确保牵引电动机的回油孔不被堵塞。特别如DF8B的ZD-109C电动机，要注意，不可将齿轮箱体的密封圈挡住回油孔。

⑤齿轮箱注油不可过多，防止齿轮油飞溅量过大引起齿轮箱体内油压过高。应选用不起泡，黏度不很大的齿轮油。严禁混加不同牌号的齿轮油。

⑥要确保牵引电动机在各个台位上的冷却通风量，经常检查通风网，特别是后台车位冷却风扇向上排风的场合，风网易被堵塞。

⑦认真落实各项检修工艺，认真检查电动机外油封及迷宫槽的状态，不得有磨损、过热、变形、裂损及安装不到位的情况。

十、抱轴瓦发热碾瓦的原因及改进

铁道干线电力机车和内燃机车的轮轴转动时与牵引电动机抱轴轴承内的抱轴瓦面发生摩擦，为保证电动机抱轴瓦的正常工作，动轴与轴瓦之间需形成正常的油膜，以使接触面配合良好，不会发生发热严重及碾瓦（即轴瓦内合金面刮损和剥离）。为此应注意以下几个方面：

1）合理的抱轴瓦径向配合尺寸。抱轴瓦外圆与机座抱轴瓦孔之间的配合如下：ZQDR-410采用D/ge的过渡配合，ϕ240D/ge，最大可能间隙为0.041mm，最大可能过盈为0.035mm；GE-752为$\phi 267_{-0.10}^{-0.05}$mm/$\phi 266.7_{0}^{+0.1}$mm，即过盈为0.1～0.25mm的过盈配合；GE-761为$\phi 206.58^{\pm 0.05}$/$\phi 206.38_{0}^{+0.072}$mm，即过盈为0.08～0.25mm的过盈配合。

抱轴瓦内孔与动轴轴径之间间隙状况：ZQDR-410电动机新抱轴瓦时确保间隙为0.2～0.4mm，现各机车厂及维修部门有增大间隙趋势，如中修规程规定为0.25～0.60mm。ZQDR-250牵引电动机也将间隙的上限放到接近0.60mm。间隙大有利于油膜的形成，在润滑的同时把摩擦产生的热量带到油箱去，对防止轴瓦发热及发生粘瓦有好处，但对大小齿轮的啮合状态带来影响。

2）抱轴瓦本身质量的好坏，对发热有很大关系。成型加工好的抱轴瓦由上、下两半个瓦组成，在分界面处的直径（即切口方向），大于设计值的称为张口变形，运行后

易在小端（即非领端）的中部产生磨损；如果在分界面处的直径小于设计值时称为缩口变形，运行后会在小端合口部分两侧间隙小，造成轴瓦发热甚至被压死。为此要求抱轴瓦的内孔、外圆及大端面处的内侧面共三个加工部位，在高精度车床上一次装夹加工完成，使此三个加工面的平行度、垂直度及同轴度符合设计要求，垂直度不大于0.06mm。此外在机加工过程中抱轴瓦体分界面合口不正，或者抱轴瓦的轴心线与机床主轴线不一致，加工出的瓦口厚度不均，一边薄，一边厚，这样容易造成轴瓦偏磨，厚的一边磨损严重导致发热。正常使用的抱轴瓦合金面接触磨损均匀，不容易发热。瓦体变形造成局部接触，会造成接触处磨得发亮，严重者露出铜瓦体，而未接触抱轴承部分因存油发黑。为此，在检验抱轴瓦片质量的时候，除了要敲击听声，应是清脆的金属实体声，无脱壳闷声外，半片瓦应测量至少五个点的厚度，小端三点，大端二点，以实测壁厚差 <0.05mm 为好，与瓦口分界面处张口或缩口变形的变化值不得大于标称值的0.4mm。

3）正确合理的抱轴瓦组装工艺与工序。为使机车动轴与轴瓦间形成正常的油膜，抱轴轴承在组装前，应将电动机及抱轴箱的抱轴体及车轴表面的灰尘、砂土等脏物清洁干净，再将两半个抱轴瓦内表面涂红丹粉，在车轴上研磨，以检查其接触面是否良好。根据研磨的情况，对轴瓦内表面进行刮花，以期获得良好的接触表面。轴瓦的瓦背外圆上开设有 1.5mm 宽度的交叉油槽，小端口部的巴氏合金层还应刮修，使其具有一定的喇叭口。

4）抱轴瓦体及合金的材质要选用合适。抱轴瓦体的材质一般为锡青铜（ZQSn6-6-3），上挂锡基轴承合金（CuSnSb11-6），其配比很重要，如锡过高，则合金软，易发生碾瓦现象。锑（Sb）含量过高，合金脆，易发生脆裂现象。此外在挂合金时温度不够或瓦体表面清理不干净，易引起瓦体与合金层面脱壳分离，造成合金大面积剥离脱落。离心浇铸专用设备的转速应足够。

5）确保集油器及毛线刷的正常供油润滑。集油器的毛线刷头应剪平整，ZQ800-1 的长度为 40 ~ 50mm，四周稍短，中间稍长，但如果太长，毛线容易卷入瓦隙内，造成缺油，毛线应绑扎结实，防止松散脱落。将毛线缝在毛巾上的固定方式，实践证实是牢靠的，但缝针松紧要适中。在更新毛线刷时应预先浸透油再使用。毛线上的压紧弹簧的压紧力必须足够，以确保毛线与轴的密贴程度。机车在运行中，应经常检查抱轴箱内的油位，发现不足应立即补油，充足的油量是油膜形成的先决条件。

由于抱轴瓦发热的部位多发生在其小端，根据这种思路，解决抱轴瓦发热的最好途径就是要消除抱轴瓦小端变形带来的影响，从而保证抱轴瓦小端间隙符合要求，机车运行时，抱轴瓦间隙能很好地形成油膜，达到防止抱轴瓦发热的目的。下面介绍某机务段的改进方案。

经充分调查研究分析，根据 SS3，SS4 型机车用抱轴瓦图纸，在基本不改变原抱轴瓦结构的基础上，对抱轴瓦小端作局部改进。

1）在抱轴瓦小端，从观察孔外侧位置起到抱轴瓦尾部，增加 0.5mm 的稍度的改造方案，旨在通过改进抱轴瓦工作面加工形状，改善抱轴瓦工作面受力状态，从而解决抱

轴瓦发热问题。

2）改造图纸。以SS3机车改造部分图纸为例，说明如下：图3-19中，抱轴瓦小端观察孔外侧增加一0.5mm稍度，长度70mm。抱轴瓦按照原图纸加工完毕后，对抱轴瓦进行改造时，增加一道车削工序，即从抱轴瓦小端观察孔外侧70mm处起刀至尾端，加工稍度0.5mm。

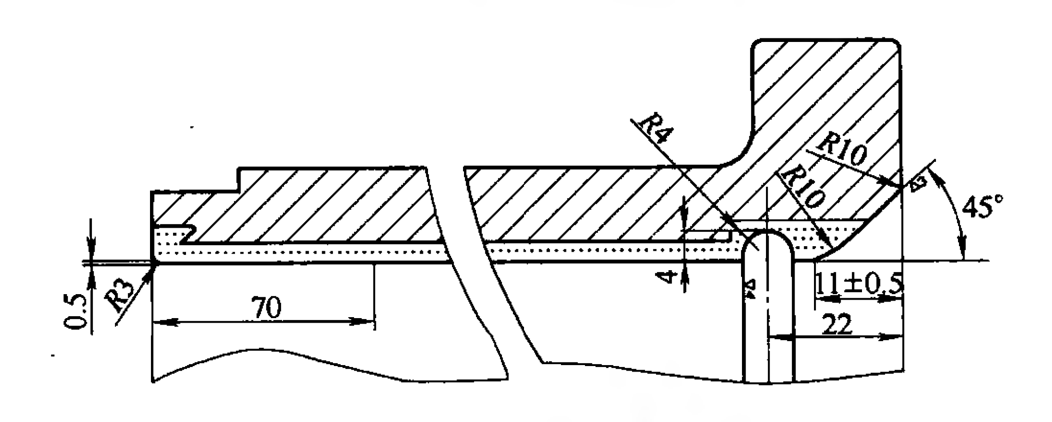


图3-19　SS3型电力机车抱轴瓦改造图

3）改造结果。为验证改造方案的可行性，在多方的共同努力下，从2008年4月开始在该段中修机车SS4-200、SS4-704、SS3-4464、SS3-4472等10台机车上采用改进后的抱轴瓦。从机车试运情况看，途中没有再发生抱轴瓦发热现象，而且改造过的抱轴瓦运行途中温度相对稳定，温度变化的幅度也较小。试运后已在该段机车检修中推广使用改进后的抱轴瓦。

本方案通过对抱轴瓦结构的局部改进，改变抱轴瓦工作面的加工形状，改善了抱轴瓦工作面的受力状态。经近二年装车试验证明，对抱轴瓦小端的改造方案是可行的，达到了预期的目的。

十一、逆电操作对牵引电动机的影响

直流串励牵引电动机在正常工作状态下，端电压主要被电枢反电势所平衡，电动机内部各绕组的电压降是非常小的。所以反电势是小于端电压但又非常接近端电压的值。如果在机车没有停稳以前就把反向手柄打反，而后又再提主手柄，这时由于外加端电压和电动机的旋转方向都没有改变，但在反向器动作以后，流过电动机励磁绕组的电流方向改变，因而牵引电动机主磁极的极性改变，使反电势的方向改变。这时反电势的方向不是与外加电压相反，而是相同。结果在外加电压与这个反电势的共同作用下，使电动机内流过非常大的电流。由于主磁极极性改变后，电动机电磁转矩的方向也改变了，对机车来说，形成了一个非常强烈的制动作用。在运转部门习惯上沿用蒸汽机车的叫法，叫做“逆汽制动”或者叫做反向器“带电反向”。电动机内流过非常大的电流，所有牵引电动机都将产生环火“放炮”，使电动机烧伤烧毁甚至报废。逆电操作是司机误操作或违章操作，常出现在坡道停车后重新起动机车、调车作业、重联机车作业等情况下。如在1998～2000年期间，某机务段配属的机车，曾多次发生由于逆电操作造成被迫救援的严重机车事故。以SS3-6022机车为例，该机车牵引货物列车时，因逆电操作造成

电动机恶性环火，机车主接地和过流继电器同时动作，电动机与电器严重烧损，被迫救援。机车回段后发现6台牵引电动机整流面严重拉伤，转子烧损（绝缘电阻值为零），汇流排和刷握烧损，部分主极线圈接地；高压电器柜电器损坏；大线烧损20多米，其他电缆烧损达2000m；车轮踏面严重擦伤，机车被迫库停检修20多天。因此，对逆电操作必须严加防范。

假定机车在向前运行，换向手柄由“前”位置“后”位，则位置转换开关“向前”位触头断开，“向后”位触头闭合，各牵引电动机励磁绕组反接。若将调速手柄从“0”位提至“＊”位，这时牵引电动机的工作会失去稳定性，各电动机的电流将失去控制，最后导致6台牵引电动机同时发生恶性环火。其原因在于6台牵引电动机分两组各3台并联。当操作换向手柄时，司机同时将调速手柄提至“＊”位，使电动机线路接触器闭合，牵引电动机并联电路构成了电流回路。此时外加端电压为零，但电动机仍存在剩磁，剩磁方向与原来磁场方向相同。由于机车仍在向前运行，即电动机仍在按原来的方向转动，会感应剩磁电势。因电动机转向与磁场方向都未变，剩磁电动势与原来的反电动势方向相同；又由于各台电动机的特性总是存在差异，故6台电动机的剩磁电动势E_1、E_2、E_3、E_4、E_5和E_6各不相同，每组剩磁电动势最大的电动机（假定第1组为第1台电动机，第2组为第6台电动机）将向其他电机输出电流而构成环流。

根据上述分析，逆电开始时，各牵引电动机进入串励发电机工况。由于电动机并联工作，电动机之间可构成内部电流回路，各电动机的特性又存在差异，因此电动机的工作失去稳定性。在电流与电动势相互正反馈作用下，回路电流迅速增长，迅速发展成剩磁电动势最大的电动机作为串励发电机工作，剩磁电动势小的电动机作为串励电动机工作，产生极大的电流直接导致全部电动机恶性环火，轻则烧损主电路电器、牵引电动机等设备，重则可将所有牵引电动机、电器，甚至将整个机车主电路同时烧毁。同时，各牵引电动机产生很大的电制动力矩及轮箍圆周电制动力，导致轮轨间严重滑行，轮轨严重擦伤，并将损坏转向架、钢轨等设备。

综上分析可见，只要牵引电动机的励磁绕组相对于机车走行的方向而言是反接时，并联的牵引电动机就构成了电流回路，此时的机车一旦起动走行就会造成逆电操作，应切记严禁逆电操作。在进行调车作业需要换向运行、机车在较大坡道上停车、重新起动机车向上坡道运行、机车重联运行、机车进行电阻制动工况时等情况时，这些操作一旦手柄位置不当，就有可能产生逆电操作，这些均应引起司乘人员的注意，应严格按有关操作规定程序进行。

十二、齿轮磨损对牵引电动机的影响

在正常工作条件下，牵引齿轮啮合是渐开线接触，因而随着时间的增加，轮齿也会磨损，这种磨损属于正常磨损。

机车的工作条件是恶劣的，东风4B型机车的电动机又是采用抱轴式悬挂，电动机和齿轮传动装置属于簧下部分，线路不平顺和钢轨接头等冲击直接作用于轮对，传递给车轴和电动机，造成电动机振动、牵引齿轮异常磨损。

机车在组装中车轴和电动机转轴的中心线存在着平行度误差；在运用中，由于车轴和电动机转轴的弯曲、抱轴瓦磨损，使得齿轮两轴线也不平行，造成齿面接触状态恶化，齿轮渐开线磨损。

此外，齿轮箱的密封不良、尘沙和水分的进入、抱轴瓦润滑油的窜入以及齿轮润滑油的泄漏，是加剧齿轮磨损的主要原因。

一对牵引齿轮是通过渐开线齿形来啮合的，未磨损时，啮合过程是平稳过渡，一对牵引齿轮没有冲击。但当牵引齿轮磨损后，会出现两种情况：

（1）牵引齿轮磨损，渐开线齿形出现偏差，甚至破坏，这样一对轮齿啮合时，有时接触，有时不接触，产生轮齿啮合冲击，传递给电动机，引起振动。

（2）牵引齿轮磨损后，轮齿在圆周上分布不均匀，轮齿啮合中会有间隙存在，也会产生冲击，引起振动。

在电动机试验中，测到的电动机各部分的固有振动频率：机座中部为410Hz；各主极出线头和铜排连线中部为100～430Hz；传动试验台上电枢-转轴-主动齿轮系统为430Hz。

机车运行速度范围很宽（目前均在0～100km/h），牵引齿轮有一个宽而连续的啮合频带（0～552Hz），电动机各部件的固有频率正好落在其中，引起电动机各部分结构局部共振。当电动机转速在1900r/min附近时，齿轮啮合频率为440Hz，与机座固有频率接近，产生明显共振，且磨损齿轮的振动加速率比新齿轮的大。如果牵引齿轮过量磨损，会造成电动机剧烈振动，致使电动机零部件的动载荷剧增，零部件过早损坏。

所以，齿形偏差越大，电动机振动越大。当齿轮磨损后，电动机上不同部位的振动加速度可增至数倍乃至数10倍，尤其是刷握，最大加速度可达100g以上。这些强烈的振动导致连线与引出线、刷握系统、抱轴油箱、齿轮箱等过早损坏就不足为奇了。特别是在电动机共振情况下，磁极连线也发生共振，其应力超过78.4MPa，已超过许用应力，如果反复作用，最终将使铜排疲劳折断。

防止牵引齿轮磨损引起电动机振动的措施，归根结底还是要严格执行现有的检修工艺，及早发现磨损超限的牵引齿轮，防患于未然。具体措施如下：

①在临修、中修更换电动机时，要注意检查测量与之配对的轮对牵引齿轮的磨损情况，该更换大齿轮的坚决更换。

②对临修、中修的轮对，电动机组件要坚持做空载磨合试验，测量抱轴瓦间隙，观察电动机振动情况。

③两个牵引传动齿轮尽量做到配对使用，不要随意调换。

④齿轮修理后，安装时应加强检查，使齿轮在原来的啮合面上接触，避免齿宽方向错位，齿轮咬合在磨损台肩上。

⑤加强对裂漏齿轮箱的检修力度，保持规定油位，严防齿轮箱间断缺油。

⑥注意主动齿轮和润滑油温。主动齿轮不得过热，超过190℃会使材料软化，加速磨损。无论使用或储存，油温都不得高于100℃。

⑦齿形偏差、齿顶厚度磨损和啮合间隙严格控制在检修规程内。

十三、检修的主要工艺过程

1. 解体前的检查（以下数据对 ZD106 适用，其他电动机可作参考）

①查阅履历簿，根据实际技术状态、历次检修的记载和运用动态变化，确定重点检修项目。

②外观检查。检查电动机各部分的状况，特别注意有无裂纹、松动、折断、灼伤、换向器发黑、磨耗等现象。

③测量换向器表面的跳动量，检查有无凸片、变形等状态，以确定是否须处理，若换向器表面已明显烧灼变形可免去此项。

④测量绝缘电阻。用 1000V 绝缘电阻表（兆欧表）测量主极、附极、电枢绕组对地的冷态绝缘电阻。

⑤在 2465r/min 工况下空转 10min。检查电动机是否振动，以确定电枢是否需作动平衡；检查轴承是否有异音；观察电刷跳动及其他异状，查找确定故障处所。

2. 解体

（1）拔出牵引齿轮和油封

①首先打开齿轮防缓螺栓的止动垫片，用专用扳手松开防缓螺栓至离轴头三扣为止，防止拔齿轮时齿轮飞出，将油压拔出器拧紧在轴头的螺孔内，然后用扳手拧按拔出器，加大油压至齿轮拔出。

②如个别齿轮因配合较紧或其他原因压出困难时，可用电磁感应加热器先对齿轮进行预加热，然后用油压拔出器加压拔出齿轮。

③齿轮拆卸后应作好标记，确保对号组装。

④用油封拔出器拧紧在油封的螺纹上，转动拔出器丝杆顶出油封。

（2）拆卸轴承盖及抽出电枢

①拆下两端轴承注油管及卡子。

②拆下前后轴承盖，打平前轴头的三角形防松垫片，拆除压紧螺钉，取下齿盘和轴承角圈。

③装前端工艺轴承盖。

④在小端轴头装工艺螺母，将三个 M16 ×40 的螺栓拧紧后，装前端轴承导向套。

⑤将传动端轴锥表面擦拭干净。将电动机平放在总装支架上。

⑥将总装吊弓水平地推入电动机轴锥部，并上螺栓防松。

⑦拔出全部电刷，必要时用钢纸板保护换向器工作表面。

⑧卸下传动端端盖螺栓，将螺栓拧入端盖顶丝孔内，将端盖顶出机座止口。

⑨徐徐移动天车，把电枢从定子内水平抽出后，放于转子支架上。

⑩拆下吊弓，装上轴锥保护套，在端盖顶丝孔内拧入吊环，将端盖吊出。

⑪拆下前端轴承导向套，松开三个螺栓，拆下轴头上的工艺螺母。

⑫卸下换向器端端盖螺栓，将螺栓拧入端盖顶丝孔内，将端盖顶出机座止口，拆下工艺轴承盖。

⑬卸下后轴承盖螺栓，拆下后轴承盖。

（3）拆卸轴承

用大、小轴承拔出器把大、小轴承外圈从端盖中拔出。

用感应加热线圈或液压拉出器把大、小轴承内圈从转子上拆下。

取出轴承，作好标记，以便对号组装。

（4）拆除刷架系统

①拆开附极-刷架连线及刷架连线螺栓，松开方头螺栓、螺母，拆下刷握，卸下紧固刷杆的螺栓，拆下刷杆。注意，在拆下时一定要作好标记，确保对号组装。

②拆下夹线的压板，取下刷架连线及刷架引出线。

3. 吹扫和清洗

（1）将大、小轴承表面残油刮去，放入轴承专用清洗机清洗，清洗完后的轴承按号放在专用存放架上。不能用棉纱擦洗轴承，如需擦洗轴承时，只能用棉布。

（2）清洗牵引齿轮、油封、轴承盖、端盖等部件。注意：应将所用工具一并清洗并妥善存放。

（3）定、转子的清洗

①用铲刀、刷子清除电动机各部件外表的油垢污物，粘接在机体及转子上的污垢硬壳要用铲刀或竹片仔细刮掉。

②把定、转子吊入吹扫室，用压力不大于0.6MPa的压缩空气吹扫定子磁极绕组、电枢绕组及电枢支架内外的灰尘。

③把电动机定、转子分别吊入专用清洗机清洗。洗涤液为3%～5%浓度的中性洗涤剂溶液，pH值不大于9，温度为60～80℃，用洗涤剂溶液冲洗10min。排掉洗涤剂溶液后，用50～70℃的清水再冲洗4～5min，洗掉电动机绝缘层表面的残存洗涤剂溶液。

④若电动机定、转子各部件有用清洗机无法洗掉的污垢，则应用手工继续清洗。可采用毛刷、软布、竹片等刷洗擦净。清洗后要求表面露出绝缘漆和覆盖漆的本色。

⑤定子前、后端盖可用高温压力清水直接冲洗，或用5%左右的洗涤液煮洗，清洗时用刷子、铲刀配合刮刷，直至洗净为止。

⑥清水冲洗完毕的电动机定、转子从清洗箱吊出后，用0.5～0.6MPa的压缩空气吹去残留在定子内外表面和电枢支架内部的水。

⑦把清洗干净的电动机定、转子吊入烘箱，烘燥时要逐步升温，平均每小时升温30℃，加热至60℃左右时需保温2～4h，以便电动机内外水气彻底蒸发散逸。然后加温至110～120℃左右，烘8～10h。

⑧在烘燥过程中用1000V兆欧表每隔1h测量一次绕组对地绝缘电阻。进烘箱8h后连续三次测量绝缘电阻值，如已趋于稳定状态，相互间误差不大于10%，且绝缘电阻值在5MΩ以上，则可以认为烘焙合格。

4. 检修

（1）定子的检修

①用1000V兆欧表测量主、附极绕组对地及其相互间的冷态绝缘电阻，应不低于5MΩ；刷架装置对地冷态绝缘电阻不低于10MΩ。

②有裂纹与缺陷应消除。机座的磁极安装面整洁无毛刺，磁极铁心与机座应密贴。

③机座磁极中间的孔为定位孔，应首先安装该处磁极螺栓，特别应注意换向极为无磁钢螺栓。

④机座上安装刷杆的凸台平面必须平整，无毛刺和污物。

⑤用50Hz、2150V（绝缘全部换新的加2860V）正弦交流电对主、附极绕组及刷架装置进行1min耐压检查，不应有击穿、闪络现象。

警告：耐压试验必须在橡胶地面上进行，且操作者必须远离工件2m以上距离。

⑥用双臂电桥或TZ测量仪测量主、附极绕组电阻值，测量值与限度表中所定相应温度下的电阻值相比，不得超过10%。

⑦允许用2500V兆欧表或升高电压的方法判断击穿点。

⑧检查主、附极垫片，不应缺损或松动。

⑨检查磁极安装尺寸。主极铁心对径应为$507.7^{+0.48}_{-0.24}$mm；附极铁心对径应为$512.2^{+0.5}_{-0.4}$mm；主极极间距离相互间偏差不大于1mm；附极与相邻主极间距离相互偏差不大于1mm。

⑩更换或作过局部修理的磁极绕组，在组装前要测量电阻，并作记录；装入铁心后用50Hz、2700V正弦交流电进行1min耐压检查，应无击穿闪络现象，并用1000V兆欧表测量冷态绝缘电阻，应不低于5MΩ。

⑪磁极螺栓头部用油灰腻子或沥青填平。

⑫电动机内部连线须可靠固定，排列整齐，夹码或绑扎处须牢固。

（2）转子的检修

①转子应保持良好的清洁状态，绕组端部、槽口、前后支架及通风孔内不许积存油污和炭粉。

②轴、油封、前后支架、平衡块、铁心、绕组元件、槽楔及各紧固螺栓不许有裂伤变形及松动。轴颈锥面油沟附近不许有擦伤、划痕等缺陷，油沟应畅通。

③转轴应探伤检查，不许有裂纹。

④无纬带不许有起层和击穿痕迹。转子重新绑扎无纬带时，其绑扎拉力应为600～1000N，绑扎后其表面不许高出电枢铁心，不平度应不大于2mm。

⑤转子各部绝缘不许有破损、烧伤和老化。

⑥平衡块丢失、松动、空转振动大或经重新绑扎无纬带的转子需做动平衡试验，牵引电动机转子许用不平衡量：换向器端≤12g，传动端≤9g。

⑦换向器前端密封应良好，换向器压圈不许裂损，螺栓不许松弛。测量换向器工作表面直径，应符合限度要求。

⑧换向器表面不许有凸片及严重的烧伤和拉伤，换向器磨损深度应不超过0.2mm。旋削换向器找中心时，应以两端轴承内滚道或轴承内圈的安装面为基准，其跳动量应不大于0.03mm；换向器表面粗糙度应为1.6μm，换向器两侧倒角为0.5×45°。倒角后槽

内不得有残存云母粉及铜屑，并消除毛刺。换向片端头车削时要车出 R_2 的圆角，云母槽沟两边的换向片用锉刀开出宽度为 2 ~ 3mm 的喇叭口。

⑨升高片处不许有开焊。片间电阻与平均值之差（氩弧焊）不大于 5%。允许用片间电压降法进行测量，但其要求应与电阻法检查时相同。

⑩检查转子轴颈表面，应无超过有效接触面积 15% 的轻度拉伤，轴端螺纹应无损伤。螺纹部分如有损伤，允许焊修，但必须严格的采取焊前预热、焊接中及焊后的保温措施。

⑪检查前后支架是否有裂纹、损伤等，有裂纹者允许焊修，焊修前须铲扩焊坡口，焊后须清除焊渣。

⑫有局部击穿与机械损伤时准许用环氧树脂修复，树脂应按规定比例配方，修复后要做超速试验。

⑬用 1000V 兆欧表测量冷态绝缘电阻，应不低于 5MΩ，否则，应根据实际情况，进行烘燥或清洗处理。

⑭用 50Hz、2150V（绝缘全部换新的加 2860V）的正弦交流电进行对地耐压试验 1min，不应有击穿、闪络现象。

⑮绕组匝间耐压采用中频或脉冲均可，匝间应无击穿、闪络现象。采用中频耐压时，匝间 60V、15s；采用脉冲耐压时，匝间 450 ~ 500V、5s。

（3）刷架装置检修

①刷杆固定应牢固；刷架连线应绝缘良好，排列规则，用压板固定在机座上。

②刷杆表面光洁、无裂纹和损伤。绝缘杆聚四氟乙烯外套有裂纹或损伤须更新。

③电刷压合机构动作应灵活。刷盒不许有严重烧伤或变形；压指不许有裂纹、破损；弹簧无锈斑，作用良好。

④同台电动机的弹簧压力差不大于 20%。烧伤或变形的刷盒、破损及弹性不符合规定的压指和弹簧须修复或更换。用克力计测量电刷压指弹簧压力，应符合(30.4 ± 0.3)N 的要求。

⑤同一台电动机须用同一牌号的电刷，其长度：中修机车须不小于原形尺寸的三分之一；运行机车须不小于原形尺寸的二分之一。

⑥电刷与刷盒间隙。轴向应不大于 1.0mm，旋转方向不大于 0.3mm。刷盒与换向器工作表面距离为 2 ~ 5mm。

（4）端盖的检修

①外观检查。端盖螺孔、油管通路及油封等状况良好，端盖有裂纹时允许焊修加固处理。

②端盖轴承安装孔座或内油封磨损拉伤时，可用金属喷涂或电刷镀方法修复，恢复至原形尺寸。

③用油枪检查两端油管是否通畅，更换不良油嘴，疏通堵塞或不畅油管。

（5）轴承的检修

①轴承内外套圈、滚动体、工作表面及套圈的配合面，必须光洁，不许有裂纹、磨

伤、压坑、锈蚀、剥离和疲劳起层等缺陷。

②轴承的清洗，应采用能在轴承表面留下油脂的清洗剂。

③轴承保持架不许有裂纹、飞边、变形。铆钉或螺钉不许有折断、松动，防缓件应作用良好，隔离部厚度应不小于原形厚度的 80%。

④轴承拆装时，严禁直接锤击。加热温度不得超过 120℃，采用电磁感应加热时剩磁感应强度不大于 3×10^{-4}T。轴承内圈与轴的接触电阻值应不大于统计平均值的 3 倍。

⑤轴承要成套更换，并分别在内、外圈上标明安装日期，下次中修时外圈要转过 90°~120°。轴承上写字使用的酸液配方：硫酸铜 8.5%，亚硒酸 7.5%，硝酸 10%。

⑥更换轴承内圈时，必须检查轴承内圈与转轴相应部位的配合尺寸，选配过盈量应符合技术要求和限度的要求。

⑦轴承用汽油清洗，吹干后，套在已安装于转轴的内圈上，测量轴承间隙，传动侧和换向器侧间隙应分别为 0.05~0.22mm 和 0.05~0.20mm。

5. 电动机的组装

(1) 两端滚柱轴承的组装

①在完好的轴承内均匀地加上铁路电动机轴承润滑脂。

②用油枪从油堵压入润滑脂，将油管内余油压出，确认油路畅通，至新油溢出为止。

③在端盖储油室加入约占油室容积 1/2~2/3 的润滑脂，轴承润滑脂的加入量：传动侧轴承 500g；换向器侧轴承 260g。

④将轴承水平放在端盖安装孔处，轴承标记朝外。

⑤用电磁感应加热器加热轴承座孔，使轴承装入。

⑥前、后端盖分别安装工艺轴承盖，应按原位置安装。

(2) 刷架系统组装

①把刷杆安装在机座上，装刷架连线及附极-刷架连线并用压板固定好。

②将定子换向器端朝上放于橡胶地面上，装刷握校正模。

③逐个装刷握，并校正刷握安装位置。

④拆下刷握校正模，装电刷。注意：电刷暂时不要放在刷盒的方孔内。

(3) 换向端端盖的组装　将端盖吊于机座上，对准机座止口，用端盖螺栓将端盖均匀压入止口。禁止锤击端盖，以防变形。

(4) 传动端端盖的组装

①将转子水平地放于转子支架上，装传动端轴承导向套。

②将后端盖吊起，保持轴承回转中心水平，装入转轴轴承内圈上。

③拆下传动端轴承导向套。

(5) 总装

①将定子水平放在总装支架上。

②装前端（换向器端）轴承导向套，注意拧紧。

③将 00 号玻璃砂布砂面朝外卷包在换向器工作面上，重叠部分不少于 300mm。内侧一端用胶布粘贴在换向器工作面上，注意一定要粘平整。

④拆下传动端轴锥保护套，装总装吊弓，并用螺栓锁紧。

⑤吊起转子，水平徐徐推入定子。注意：定转子不能相碰。

⑥调整吊弓，将后端盖对准机座止口，用螺栓将端盖均匀地压入止口。退掉螺栓，拆下吊弓。装传动端轴锥保护套。

⑦拆下前端（换向器端）轴承导向套及工艺螺母，拆下前端工艺轴承盖。

⑧装轴承角圈、轴头齿盘、三角形锁紧垫片，并用 3 个 M16 ×50 的螺栓把紧。垫片折边锁紧，装前轴承盖。

⑨将油封加热至 140℃，装上转子，应无碰磨现象。

⑩装电刷。注意：压指不能压住刷辫线。

⑪转动转子研磨电刷，确保沿圆周方向的研磨面达 100%，然后抽出砂布。

⑫装前、后端盖注油管及固定卡子，油管丝扣不得损坏，油管不得松动。

⑬转动转子，用高压风吹扫电动机内腔的炭粉。

⑭测量组装后两侧轴承装配间隙和转子轴向移动量。

⑮测量换向器工作面跳动量，应不大于 0.03mm。

⑯将小齿轮加热到 105 ~125℃后套在轴上，轴向装入量为 1.5 ~1.7mm。待小齿轮冷却至室温后，装上压板和止动垫片，拧紧螺栓，并打好止动垫片。齿轮与轴径接触面不小于 75%。

十四、日常的维护和保养

日常检查及维护内容见表 3-9。

表 3-9 日常检查及维护内容

检查维护分类	日常检查及维护内容
需日常观察的部位	（1）观察换向器上电刷滑过的表面，其氧化膜色泽是否为闪亮的棕色，如表面颜色不正常，有较严重烧伤痕迹等应分析原因并作出处理 （2）检查电刷是否有碎裂，必要时应予更换。如刷辫线变色，则应检查刷辫固定处是否松动，常见原因是用炭粉填塞处松脱或固定刷辫铆钉松动 （3）检查刷杆固定是否有松动、开裂和电气击穿，表面是否清洁 （4）检查电动机内部各表面是否清洁，有无轴承甩润滑脂和轴伸端油封窜油现象 （5）检查牵引电动机内部是否有油、水从通风管道内进入电动机内部
需经常清扫的部位	（1）用高压风清除积聚在换向器片间云母沟槽中的炭灰和油污 （2）用酒精浸洁净的布擦拭整个换向器工作面 （3）擦净刷杆上的油污和积灰 （4）电动机进风口与出风口处如有灰尘、油污积聚、造成局部堵塞，应及时清理

（续）

检查维护分类	日常检查及维护内容
需定期检查的部位	（1）检查各电刷的磨耗情况，如已到限或影响压指压紧电刷到换向器工作表面时，应予更换 （2）检查换向器片间云母下刻情况，深度是否符合原设计要求，换向片两侧倒角0.5×45°处应无毛刺 （3）检查刷握压指是否转动灵活，弹簧压力是否在规定范围内 （4）检查各电刷是否能在刷盒孔内滑动自如，电刷与刷盒孔的配合是否良好 （5）检查电刷的接触面积不应小于80%，电刷不应有崩裂和几个接触面痕迹 （6）检查刷盒底边与换向器工作面是否平行，其间距是否符合要求（一般为2～4mm左右） （7）检查各绕组的绝缘电阻 （8）检查刷架圈紧固双头螺栓有无松动现象，其他各处紧固零件是否处于紧固完好状态 （9）检查电枢表面的无纬带和钢丝绑扎，有否乱丝、松散状况 （10）检查抱轴瓦与动轮轴之间的间隙是否正常，润滑装置是否良好
需补充油脂的部位	（1）滚动轴承的润滑油脂应定期定量补充，加脂量要适当，要注意油脂牌号，不可混用 （2）抱轴瓦油箱内润滑油，也要及时补充，油面不应超过最高界限线

直流牵引电动机一般保养的内容如下。

1）定期使用干燥压缩空气吹扫电动机，清洁换向器、刷杆瓷瓶上的炭粉和灰尘，经常保持电动机内外清洁、干燥、无油垢积水。要根据机车的运行情况，确定合理的轴承补油脂周期和给油量，避免缺油和给油过多。补入的润滑油脂应与电动机轴承内原用的油脂牌号相同，禁止不同牌号的油脂混合使用。

2）经常打开检查孔盖检查电动机内部，开盖前要清除容易落入电动机内部的灰尘和油垢。检查电动机时禁止用有油的手去摸碰换向器表面及电刷工作表面。换向器表面有油污及黑痕时，要及时用洁净的棉丝或绸布浸酒精擦去，必要时可用00号砂纸打磨，然后吹扫干净。更换不良弹簧及电刷时，同一台电动机上要使用同牌号同尺寸的配件，不使电动机性能发生变化。换上的新电刷要认真用0号砂布贴着换向器工作面的弧度进行砂磨，确保工作表面密贴，然后清除炭粉。电动机内部有断线、变色、烧损、松动、裂纹、开焊、甩油及换向器严重发黑等现象时，要立即判明原因后采取相应措施。检查完毕后，将检查盖盖好。

3）正确合理的操纵机车，防止牵引电动机损伤。机车起动时，起动电流不要超过电动机的最大允许电流。要注意各台位牵引电动机的电流分配差异要在规定范围内，正

常运行时要注意主回路电流不发生大的波动。运行中要防止轮对连续空转，检查主电路内各导线、接点紧固、牢固无松动。使用电阻制动要注意机车速度不要太高，制动电流不超过规定值。

4）牵引电动机抱轴轴承在工作中不应超过70℃，注意其径向及轴向间隙不得超限，否则应予以调整或换新。要检查抱轴轴承油盒的油位高度是否在规定的范围内，应适时添加及定期更换。检查油箱内毛线垫供油是否正常，发现缺损、严重硬化及使用期超限时应予换新。

以东风11型内燃机车ZD-106直流牵引电动机为例，主要部件维护保养的要点如下：

（1）换向器的维护和保养

1）换向器是电动机的关键部件，而且容易产生故障，因此应加强维护，每周至少应检查清扫一次，在检查其表面状态时应注意如下：

①仔细观察换向器表面情况。正常的换向器表面应该是在电刷滑过的轨迹上呈现均匀、有光泽的薄膜，薄膜的颜色可以是浅色的、略深色的、甚至是深色的，只要换向器工作表面没有不均匀的磨损、局部发黑和严重的发黑现象，都应该认为是正常的。

②检查换向器片间云母下刻情况。正常的换向器片间云母下刻深度应为1.2～1.6mm。换向片两侧0.5×45°倒角处应无毛刺。

2）换向器的维护保养方法

①经常用高压风清除换向器表面的炭粉，如换向器表面有油或轻度的烘黑痕迹，可用干净白布蘸酒精擦抹去除。

②如换向器表面有较明显的烧伤痕迹，而且用布擦抹无效时，可用00号玻璃砂布紧贴换向器表面（最好用与换向器表面有相同圆弧的木块压紧）进行打磨，时间不宜太长。打磨后须用高压风吹净。

警告：严禁使用金刚砂布。

③如换向器表面磨损太多或损伤严重以致影响电动机正常工作时，应将电动机解体，精车换向器表面。

（2）刷握的维护和保养

①应经常清除刷杆表面的炭粉、油污，保持其清洁。

②检查刷握压指转动是否灵活，弹簧压力是否在(30.4±3)N范围内。

③电刷在刷盒内应上下活动自如，电刷与刷盒方孔的间隙应符合规定值，发现电刷与换向器接触面处产生偏磨呈U形状，说明电刷与刷盒的配合太松，应查找原因予以处理。

④电刷与换向器接触表面的接触面积应不小于电刷截面积的80%，否则电刷应予研磨。研磨时最好采用专用研磨工具，如采用玻璃砂纸手工研磨时，应注意将砂纸紧贴换向器表面。

警告：严禁使用金刚砂布。

⑤电刷磨损到限或产生崩裂、刷辫松动、变色等缺陷时，应更换电刷。更换的电刷

应按上述要求予以研磨。

警告：电刷的牌号为 CE7 或 D374B，禁用其他牌号电刷，一台电动机上应使用同一厂家同一牌号的电刷。

（3）轴承的维护保养

①经常检查轴承的温升情况，如发现轴承过热应及时找出原因予以处理。一般原因有：加油过多过少，油质不纯，变质，轴承径向游隙太小，轴承窜油，轴承质量不良，油封摩擦以及内部不干净等。

②轴承在使用中的加油量，建议从机车运行 2×10^4km 开始，每走行 2×10^4km，前端轴承加油 10～15g，后端轴承加油 20～25g。

ZD-106 主要原形尺寸及限度见表 3-10。

表 3-10　ZD-106 主要原形尺寸及限度

项别	名称			原形尺寸/mm	限度/mm	
					中修	禁用
1	电刷与刷盒的间隙	沿电刷厚度方向		0.065～0.247	0.3	0.4
		沿电刷宽度方向		0.08～0.40	1	1.5
2	刷盒与换向器工作表面的距离			3^{+2}_{-1}	2～5	
3	刷盒与换向器升高片的距离			9		13
4	刷盒与换向器轴线的平行度			≤1	≤1	
5	沿换向器工作面圆周方向相邻两排电刷距离偏差			≤0.5	≤0.5	
6	电刷压力/N			30.4±3	27.4～33.4	
7	换向器云母下刻深度			1.2～1.6	1	0.5
8	换向器工作面直径			$\phi390^{+1.5}_{0}$	$\phi374$	$\phi372$
9	磁极间距(对径)	主极		$507.7^{+0.48}_{-0.24}$	$507.7^{+0.48}_{-0.24}$	
		换向极		$512.2^{+0.5}_{-0.4}$	$512.2^{+0.5}_{-0.4}$	
10	电枢轴安装轴套(油封)处直径	传动端	前轴套处	$\phi170^{+0.093}_{+0.068}$	$\phi170^{+0.093}_{+0.068}$	
			油封处	$\phi140^{+0.117}_{+0.092}$	$\phi140^{+0.117}_{+0.092}$	
		换向器端(后轴套处)		$\phi90^{+0.045}_{+0.023}$	$\phi90^{+0.045}_{+0.023}$	
11	组装后电枢轴向移动量			0.15～0.40	0.50	
12	轴承内圈安装后滚道上的跳动量	传动端		0～0.03	0.04	0.05
		换向器端		0～0.025	0.035	0.045
13	组装后换向器工作面的跳动量			0～0.03	0.06	0.1
14	沿圆周方向主极间距离相互偏差			≤1	≤1	
15	换向极与相邻主极极间距离相互偏差			≤1	≤1	
16	磁极相对于机座端盖止口中心同轴度			$\phi0.3$	$\phi0.3$	$>\phi0.3$

（续）

项别	名称		原形尺寸/mm	限度/mm	
				中修	禁用
17	轴承内圈与轴的配合过盈量	传动端	0.043～0.093	0.043～0.093	
		换向器端	0.025～0.065	0.025～0.065	
18	主极绕组电阻(Ω,15℃)		0.00812	0.00812±10%	
19	换向极绕组电阻(Ω,15℃)		0.00583	0.00583±10%	
20	电枢绕组电阻(Ω,1～57片,15℃)		0.0114	0.0114±10%	
21	轴承外圈和端盖轴承孔的配合间隙	传动端	-0.018～0.079	-0.018～0.079	
		换向器端	-0.016～0.060	-0.016～0.060	
22	换向器磨损深度			≤0.2	
23	轴承径向自由间隙	传动端	0.170～0.200	0.170～0.250	
		换向器端	0.120～0.145	0.120～0.210	
24	组装后轴承径向间隙	传动端	0.10～0.16	0.22	0.25
		换向器端	0.06～0.12	0.20	0.25

十五、感应加热器在牵引电动机检修中的应用

铁路机车在制造或修理过程中，转向架部件轮对的轮箍拆卸及轮箍、轮芯、从动大齿轮的热套装是一项非常关键的工序，它不但涉及生产环节的顺利完成，更重要的是关系到整台机车的安全可靠的运行。牵引电动机是机车的最重要的核心部件之一，在制造及修理过程中，轴承、主动小齿轮、轴套等一些部件均要进行热套装或热拆卸的关键工序。

热套装的工艺方法很多，目前常用的有火焰、油浴、电阻炉烘房等。火焰加热时，清洁度差，环境污染大，加热不均匀。这些方法都是属间接传导加热，工件各部分的加热温度基本相等的，因此是等温加热，特别是热套装的工件都是圆形较大直径的零件，热套装内孔膨胀的同时，外径的膨胀更大，因此将产生外径向很大的内应力，它将严重影响内径轴孔的抱合力，极易造成内径轴孔的永久性松弛。因此最理想的加热方法应是使工件直接感应加热，它符合等胀量加热的原理，使过盈件在需热套装的部位能自身直接发热，这才是科学合理的加热方法。它不但能节电、节油、节省操作场地，节省人力，而且没有油烟，不会污染环境，而且提高电动机部件的装配质量。

常州三利电器公司，专业从事自动感应加热装置的研制开发和生产，主产品有四个系列一百余种规格。

ZJ20 系列工频感应加热器，主要用于对轴承、齿轮、联轴器、车轮轮芯、轮箍等多种金属零件的加热，使之内孔膨胀。工作时，作为一台特殊结构变压器的主机被接通电源，作为副边绕组的工件感应产生短路电流而被加热。图 3-20 为 ZJ20X-1～2 轴承加热器，图 3-21 为 ZJ20X-6～7 齿轮、齿圈加热器，图 3-22 为 ZJ20T 拆卸加热器的外形。

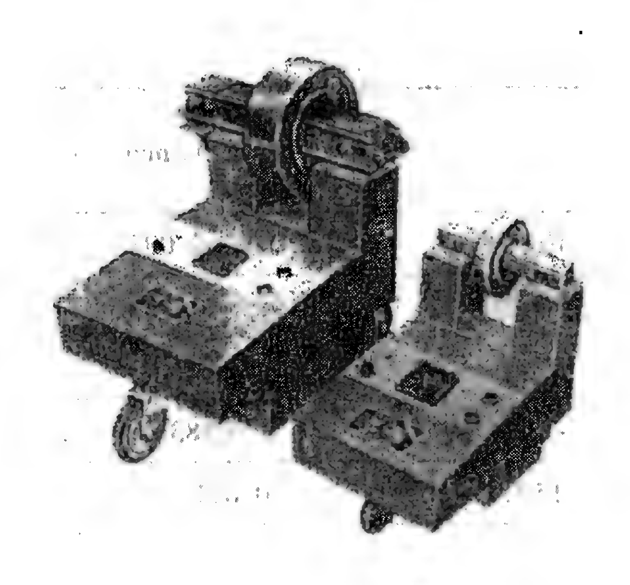


图 3-20　ZJ20X-1 ~2 轴承加热器

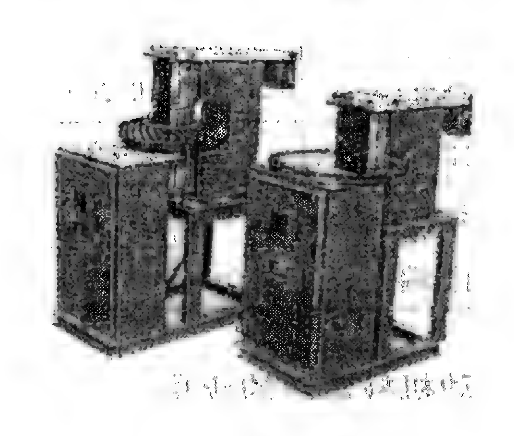


图 3-21　ZJ20X-6 ~7 齿轮、齿圈加热器

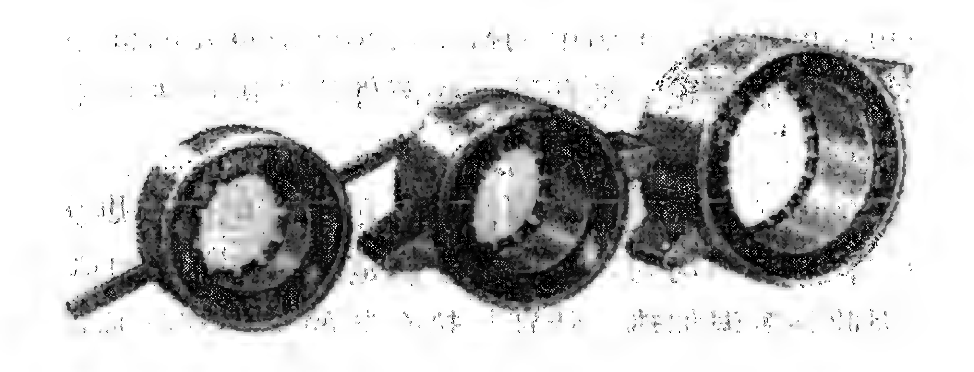


图 3-22　ZJ20T 拆卸加热器外形

第四章　蓄电池车辆用电动机和使用特点

一、蓄电池供电直流电动机的设计特点

在各种小型集装单元装卸搬运作业场所，如仓库、码头、货场、车厢内，各种蓄电池电动叉车、搬运车、堆垛车等电动工业车辆正在得到越来越广泛的使用。此外，随着旅游观光业的发展，各种不同大小、不同座次的游览车、沙滩车、高尔夫球车、电动汽车的数量和品种也随之急剧增多。

这些电动工业车辆，由于运行道路坡度大、蓄电池供电电压值变化大、运载负载不稳定等特点，使牵引电动机的最大电流、最大转矩、最高工作转速等指标，均比一般直流电动机提出了更高、更严格的要求。

蓄电池工业车辆。关键的核心技术是电驱动装置及电控系统。杭州拜特电驱动技术有限公司是一家集设计、制造和销售为一体的专业生产蓄电池工业车辆电驱动装置的厂商，设计制造的驱动系统调速平稳、操纵方便、安全可靠，十分适用于各种电动搬运车辆的驱动控制，如电动搬运车、电动堆高车、电动叉车等。驱动轮是将驱动电动机、减速箱和车轮设计成一个整体，成为独立的驱动单元。

蓄电池车辆用的直流电动机，包括行走用的牵引电动机及供油泵、转向等用的辅助电动机，用的都是低电压、大电流的直流电动机，额定电压为22～90V（相应蓄电池标称电压为24～96V）。其工作定额大多为短时工作制定额，如5min、15min、30min等，也有小时或连续工作制定额。冷却方式为自然冷却和自通风冷却，可制成封闭式或开启式。

根据蓄电池车辆的工作特点，行走是主要的耗能工况，又限于作业场所的环境条件及功能要求，行驶距离均较短，但需经常起动和停车，同时希望要有大的起动转矩。因此蓄电池车辆的原动力具有恒功率软特性，即在各种不同的工况时，其有效功率恒定，当在较低转速工作时，输出转矩应能相应增大，起动要有力，串励直流电动机的工作外特性最符合这种要求。由于串励直流电动机的转矩与其负载电流的二次方成正比，理论上讲，在2倍过电流时，其输出的负载转矩可达到4倍额定值，但由于电流过载时磁路饱和的关系，不可能达到二次方的关系，现一般要求蓄电池车辆直流电动机，在最大励磁下其最大转矩对额定转矩的比值是串励直流电动机时为4.5，复励直流电动机时为4，并励或他励直流电动机时为3.5。这一特殊的性能要求，是蓄电池车辆用直流电动机的最大技术特点，在牵引电动机电磁计算中的磁路设计时，应予以保证。现提供几个关键设计参数的参考值：齿部磁通密度在3倍过电流时不超过2.1T，为此在额定时以不大于1.5T为好。气隙磁通密度控制不超过1.1T和0.75T（前者3倍，后者为额定电流时）和。额定饱和系数不超过1.4，最好1.2以下，相应地过载3倍电流时不超过2.3。为了磁路的工作稳定性，电动机的机壳均采用密致无缩孔的无缝钢管制作，而电枢冲片均采用磁性能良好的冷轧硅钢板冲制。

蓄电池车辆用电动机在结构上与工业矿山用直流牵引电动机无实质性的差别，电枢绕组大多用复合漆包扁铜线制成的单波或单叠型成型绕组，电枢绕组对地绝缘则多采用各种合成纤维纸薄膜复合箔槽绝缘，定子主极绕组也用漆包扁铜线平绕而成，由于径向空间很小及加强散热，主极线圈均需压制成弧形，使其紧贴在机壳及主极铁心极靴之间。

二、主要型号和规格

由于蓄电池车辆直流电动机生产年代已较长，全国生产厂商很多，下面只能列出部分厂商生产的型号及规格。

1. 江苏常州华盛电机厂

主要生产 XQ、XQT 系列串励直流牵引电动机，近年来开发的 XQT 新系列游览车、沙滩车、电动汽车、高尔夫球车用的他励直流牵引电动机，可通过斩波器对他励绕组及电枢绕组供电进行分别调制，除了也可获得串励直流电动机优良的牵引特性以外，还具有以下特点：

1） 上坡防后滑；

2） 下坡及减速时可对电动机进行再生制动回收电能；

3） 下坡时设置限速运行；

4） 改变电动机转向时用电子换向来代替大电流接触器。

表 4-1 ~ 表 4-5 为该厂部分产品。

表 4-1 叉车、牵引车、搬运车电机目录（一）

行走电机系列（串励部分）

序号	型 号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适 用 于	结构特点
1	XQ-0.55-1H	0.55	22	38	2100	串励	30	1t 托盘搬运车	电动轮内置式，附后电制动（常开）
2	XQ-0.55-1CH	0.55	22	38	2100	串励	30	1t 托盘搬运车	电动轮内置式，附前电制动（常闭）
3	XQ-0.75-1H	0.75	22	50	2200	串励	30	1.5t 托盘搬运车，0.75t 平衡重叉车	电动轮内置式，附后电制动（常开）
4	XQ-0.75-1AH	0.75	22	50	2200	串励	30	1.5t 托盘搬运车，0.75t 平衡重叉车	电动轮内置式，附前电制动（常闭）
5	XQ-0.75-1CH	0.75	22	50	2200	串励	30	1.5t 托盘搬运车，0.75t 平衡重叉车	电动轮内置式，附前电制动（常闭）
6	XQ-0.75-2H	0.75	24	44	3900	串励	30		
7	XQ-0.9H	0.9	22	60	2200	串励	30	2t 托盘搬运车	电动轮内置式，附前电制动（常闭）
8	XQ-0.9-1H	0.9	24	52	2500	串励	30		

（续）

序号	型　　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适　用　于	结 构 特 点
9	XQ-1.2H	1.2	24	67	1900	串励	60	1t 三支点叉车行走	立式安装，锥度出轴（无键连接）
10	XQ-1.2-1H	1.2	24	67	1900	串励	60		圆柱出轴
11	XQ-1.2-2H	1.2	60	25	2200	串励	60		卧式带底脚，圆柱出轴，单键
12	XQ-1.3H	1.3	24	70	1900	串励	60	1t 搬运车	圆柱出轴，单键
13	XQ-1.5-1H	1.5	34	62	1900	串励	60		花键出轴（6-20×16×4）
14	XQ-1.5-2H	1.5	60	32	2200	串励	60		卧式带底脚，圆柱出轴，单键
15	XQ-1.5AH	1.5	34	62	1900	串励	60	轨道搬运车	机座外径：ϕ192mm，花键出轴（6-20×16×4）
16	XQ-1.5-9H	1.5	24	82	2000	串励	60	1t 三支点叉车行走	立式安装，锥度出轴，附前电制动（常闭）
17	XQ-1.8H	1.8	24	100	1600	串励	60		
18	XQ-2.2-3H	2.2	34	87	1900	串励	60		花键出轴（6-20×16×4）
19	XQ-2.2-4H	2.2	45	64	1900	串励	60		花键出轴（6-20×16×4）
20	XQ-2.2-4AH	2.2	45	64	2000	串励	60	1t 搬运车	机座外径：ϕ192，花键出轴（6-20×16×6）
21	XQ-3-1H	3	45	87	1780	串励	60		花键出轴：(6-20×16×4)
22	XQ-3H	3	45	87	1780	串励	60	1.25～1.75t 双驱动叉车行走	机座带双耳，花键出轴（6-20×16×4）
23	XQ-3-3H	3	45	84	1300	串励	60	2t 搬运车	双锥度出轴，六根引出线，机座外径：242mm

（续）

序号	型　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适　用　于	结构特点
24	XQ-3-3BH	3	45	90	1800	串励	60	2t 搬运车	双出轴，一头带螺母，一头花键（6-28×23×6）
25	XQ-3-3DH	3	45	90	1800	串励	60	2t 搬运车	双锥度出轴，六根引出线，机座外径：242mm
26	XQ-3.7H	3.7	45	104	1700	串励	60	前移式叉车	双出轴，一端花键（6-32×26×6）
27	XQ-4-1H	4	48	100	1750	串励	60		
28	XQ-4.5-1H	4.5	45	125	1800	串励	60	3t 搬运车	双锥度出轴，六根引出线，机座外径：242mm
29	XQ-4.5-1AH	4.5	45	125	1800	串励	60		
30	XQ-5H	5	45	139	1480	串励	60	1.5t 叉车行走	花键出轴（6-28×23×6）
31	XQ-5-1H	5	45	139	1480	串励	60	1.5t 叉车行走	轴头带螺母，花键出轴（6-28×23×6）
32	XQ-5-4H	5	45	139	1480	串励	60	1.5t 叉车行走	轴头带螺母，非圆型端盖，花键出轴
33	XQ-6.3-2H	6.3	45	173	1200	串励	60	2～2.5t 叉车行走 10t 牵引车行走	花键出轴（6-32×26×6）
34	XQ-6.3-2CH	6.3	45	173	1200	串励	60		双出轴，卧式带底脚，一头花键（6-32×26×6）
35	XQ-7.5H	7.5	56	165	1500	串励	60		花键出轴（6-32×26×6）
36	XQ-10H	10	72	165	1800	串励	60		花键出轴（6-32×26×6）
37	XQ-10-1H	10	72	160	1200	串励	60		花键出轴（6-32×28×7）

表 4-2　叉车、牵引车、搬运车电机目录（二）
行走电机系列（他励部分）

序号	型　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	额定励磁电流/A	最小励磁电流/A	定额/min	适用于	结构特点
1	XQT-0.2H	0.2	24	13	2000	他励	1.3	0.7	60		机座外径：ϕ118，圆柱出轴，单键
2	XQT-0.55-1CH	055	22			他励					
3	XQT-0.75-1CH	0.75	22	50	2300	他励	6	4	30	托盘搬运车	附前电制动（常开）
4	XQT-0.75-1DH	0.75	24	46	2800	他励	4.6	3.5	60		附前电制动（常闭）
5	XQT-0.8H					他励					
6	XQT-0.9H	0.9	22	60	2300	他励	9	6	30	托盘搬运车	附前电制动（常闭）
7	XQT-1.2H	1.2	24	67	1900	他励	8	5			双出轴，一端带锥度，螺纹
8	XQT-1.2-3H	1.2	24	65	2600	他励	7.6	6.6	60		附前电制动（常闭）
9	XQT-1.5-1H	1.5	34	62	1900	他励	8.7	4.4	60		花键出轴（6-20×16×4）
10	XQT-1.5-9H	1.5	24	82	2200	他励	8	5	60		双出轴，一端带锥度，螺纹
11	XQT-1.8H	1.8	24	97	1600	他励	9	6			双出轴，一端花键（6-20×16×4）
12	XQT-1.8AH	1.8	24	97	1600	他励	10	6			双出轴，一端花键（6-20×16×4）
13	XQT-2H	2	24	100	3350	他励	9.5	5			机座外径：ϕ150，单键圆柱出轴，轴头带螺纹
14	XQT-2AH	2	24	100	3350	他励	10	5			机座外径：ϕ150，圆锥出轴，带螺纹

（续）

序号	型　　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	额定励磁电流/A	最小励磁电流/A	定额/min	适用于	结 构 特 点
15	XQT-2-1AH	2	24	100	2500	他励	10	6			机座外径 ϕ150，花键出轴（6-20×16×4）
16	XQT-2-1BH	2	24	100	2500	他励	10	6			双出轴，一端带螺纹（M14×1.5）
17	XQT-2-1CH	2	24	100	2500	他励	10	6			双出轴，一端带花键（6-20×16×4）
18	XQT-2-2H	2	24	108	1600	他励	10	7	60		双出轴，一端带花键（6-20×16×4）
19	XQT-2.2-4H	2.2	45	64	1900	他励	8.5	4.3	60		花键出轴（6-20×16×4）
20	XQT-2.2-6AH	2.2	48	57	2800	他励	7	4	60		
21	XQT-2.5H	2.5	24	130	2500	他励	10	7	60		花键出轴（6-20×16×4）
22	XQT-3.7H	3.7	45	104	1700	他励	12		60		机座外径 ϕ242，锥度出轴
23	XQT-3-1H	3	45	87	1780	他励	10.3	52	60		花键出轴（6-20×16×4）
24	XQT-3-1GH										
25	XQT-3-1FH										
26	XQT-4-2H	4	48	104	1800	他励	11	6	60		
27	XQT-5H	5	45	139	1480	他励	15	7.5	60		花键出轴（6-28×23×6）
28	XQT-6.3-2H	6.3	45	173	1200	他励	19	10	60		花键出轴（6-32×26×6）
29	XQT-6.3-5H	6.3	45	173	1440	他励	13		60		花键出轴（6-32×26×6）

表 4-3　叉车、牵引车、搬运车电机目录（三）
油泵电机系列（复励部分）

序号	型　　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适　用　于	结 构 特 点
1	XQD-0. 37H	0. 37	22	38	1400	复励	30	0. 5～1t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
2	XQD-0. 37AH	0. 37	22	28	1400	复励	30	0. 5～1t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
3	XQD-0. 55-3H	0. 55	45	18. 5	1400	复励	30	1～1. 5t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
4	XQD-0. 75-1H	0. 75	75	14	1900	复励	30	3t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
5	XQD-0. 75-2H	0. 75	45	25	1550	复励	30	2～2. 5t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
6	XQD-0. 75-3H	0. 75	45	24	1550	复励	30	2～2. 5t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
7	XQD-0. 8H	0. 8	45	24	1550	复励	60	2～2. 5t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
8	XQD-0. 9H	0. 9	22	60	1900	复励	30	液压泵电机	立式法兰安装，单键圆柱出轴
9	XQD-1. 1H	1. 1	45	34	1550	复励	30	2～2. 5t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
10	XQD-1. 35H	1. 35	24	75	1500	复励	30	3t 叉车转向	卧式带底脚，扁口凹轴伸
11	XQD-1. 5-2H	1. 5	36	58	1800	复励	30		卧式带底脚，扁口凹轴伸
12	XQD-1. 5-3H					复励			
13	XQD-2. 2H	2. 2	22	134	1700	复励	15	0. 5～1t 叉车起升	单键圆柱出轴
14	XQD-2. 2-1H	2. 2	22	139	1700	复励	5	0. 5～1t 叉车起升	单键圆柱出轴
15	XQD-2. 2-2H	2. 2	24	122	1700	复励	60		机座外径：ϕ172，扁口凹轴伸
16	XQD-2. 2AH	2. 2	22	134	1700	复励	15		卧式带底脚，扁口凹轴伸

（续）

序号	型　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适　用　于	结构特点
17	XQD-2.2BH	2.2	22	134	1700	复励	15		卧式带底脚，扁口凹轴伸
18	XQD-2.2-3H	2.2	36	80	1700	复励	60		卧式带底脚，扁口凹轴伸
19	XQD-2.2-4H	2.2	24	120	2600	复励	2		无轴盖，扁口凹轴伸
20	XQD-3H	3	24	166	2600	串励	5		卧式带底脚，扁口凹轴伸
21	XQD-5AH	5	45	148	2000	复励	5	1t 叉车起升	内花键凹轴伸（4-15×12×4）
22	XQD-5BH	5	45	148	2000	复励	5		卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-15×12×4）
23	XQD-6.3H	6.3	45	173	2000	复励	15	1.5t 叉车起升	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）
24	XQD-6.3-1H	6.3	45	173	2000	串励	15	1.5t 叉车起升	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）
25	XQD-7.5-2H	7.5	45	209	2000	复励	15	2～2.5t 叉车起升	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）
26	XQD-7.5-3H	7.5	45	210	2000	串励	15	2～2.5t 叉车起升	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）
27	XQD-7.5-4H	7.5	45	210	1550	串励	15	2～2.5t 叉车起升	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）
28	XQD-7.5-5H	7.5	24	468	1330	串励	5		卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）

（续）

序号	型　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适用于	结构特点
29	XQD-8.6H								
30	XQD-10H	10	64	187	2500	复励	60	牵引车、叉车液力传动用主轴泵电动机	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）
31	XQD-10-3H	10	75	162	2000	复励	15	3t叉车起升	卧式带底脚，内花键凹轴伸（4-18×15×5）

表4-4　电动观光车电机目录（一）

串励系列

序号	型　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适用于	结构特点
1	XQ-1.5-1H	1.5	34	62	1900	串励	60	游览车	花键出轴（6-20×16×4）
2	XQ-1.5-5H	1.5	36	54	2800	串励	60	游览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
3	XQ-1.5-6H	1.5	36	54	2800	串励	60	游览车	方法兰连接，花键出轴（$m=1$，$z=18$）
4	XQ-2.2-3H					串励			
5	XQ-2.2-4H	2.2	45	64	1900	串励	60	游览车	花键出轴（6-20×16×4）
6	XQ-2.2-5H	2.2	48	57	2800	串励	60	游览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
7	XQ-2.2-6H1	2.2	48	57	2800	串励	60	游览车	方法兰连接凹轴伸，内花键出轴（$m=1$，$z=18$）
8	XQ-2.2-7H2	2.2	36	80	2800	串励	60	游览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
9	XQ-2.2-9H2	2.2	36	80	2800	串励	60	游览车	方法兰连接凹轴伸，内花键出轴（$m=1$，$z=18$）
10	XQ-2.2-12H	2.2	48	57	2300	串励	60	游览车	方法兰连接凹轴伸，内花键出轴（$m=1$，$z=18$）

（续）

序号	型　　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适用于	结构特点
11	XQ-2.2-13H	2.2	48	57	2300	串励	60	游览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
12	XQ-3-1H	3	45	87	1780	串励	60	游览车	花键出轴（6-20×16×4）
13	XQ-3-1AH	3	45	87	1780	串励	60	游览车	ϕ230mm端盖法兰连接，花键出轴（6-20×16×4）
14	XQ-3-1BH					串励			
15	XQ-3-1DH	3	45	87	1780	串励	60	游览车	
16	XQ-3-1EH					串励			
17	XQ-3-1JH					串励			
18	XQ-3-5H2	3	48	78	2800	串励	60	浏览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
19	XQ-3-6H1	3	48	78	2800	串励	60	游览车	方法兰连接凹轴伸，内花键出轴（$m=1$，$z=18$）
20	XQ-3-6H2	3	48	76	2800	串励	60	游览车	方法兰连接凹轴伸，内花键出轴（$m=1$，$z=18$）
21	XQ-3-6AH					串励			
22	XQ-3-8H	3	48	76	2800	串励	60	游览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
23	XQ-4H	4	48	101	2800	串励	60	游览车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
24	XQ-4AH					串励			
25	XQ-4BH					串励			
26	XQ-4CH					串励			
27	XQ-4DH					串励			
28	XQ-4-3H					串励			
29	XQ-4-7H	4	72	67	2800	串励	60	电动汽车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
30	XQ-5H	5	45	139	1480	串励	60	游览车	花键出轴（6-28×23×6）
31	XQ-5-5H	5	67	93	1500	串励	60	游览车	花键出轴（6-28×23×6）
32	XQ-5-6H	5	45	139	1800	串励	60	游览车	花键出轴（6-28×23×6）

（续）

序号	型　　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	定额/min	适用于	结 构 特 点
33	XQ-5-7H	5	72	84	2800	串励	60	电动汽车	无端盖凹轴伸，19 齿英制内花键
34	XQ-5-7AH					串励			
35	XQ-5FH					串励			
36	XQ-6. 3-3H	6. 3	67	113	1500	串励	60	电动汽车	花键出轴（6-28×23×6）
37	XQ-6. 3-4H	6. 3	90	84	2000	串励	60	电动汽车	花键出轴（6-28×23×6）
38	XQ-6. 3-6H					串励			
39	XQ-6. 3-6AH					串励			
40	XQ-7. 5-1H	7. 5	90	100	2000	串励	60	电动汽车	花键出轴（6-28×23×6）
41	XQ-8. 5H					串励			
42	XQ-8. 5AH					串励			
43	XQ-10-1H					串励			

表 4-5　电动观光车电机目录（二）

他励系列

序号	型　　号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	额定励磁电流/A	最小励磁电流/A	定额/min	适用于	结 构 特 点
1	XQT-1. 5-1H	1. 5	34	62	1900	他励	8. 7	4. 4	60	游览车	花键出轴（6-20×16×4）
2	XQT-1. 5-5H									游览车	
3	XQT-1. 5-6H									游览车	
4	XQT-2. 2-4H	2. 2	45	64	1900	他励	8. 5	4. 3	60	游览车	花键出轴（6-20×16×4）
5	XQT-2. 2-5H									游览车	
6	XQT-2. 2-6H1									游览车	
7	XQT-2. 2-7H2	2. 2	36	80	2800	他励	8. 5	4. 4	60	高尔夫球车	无端盖凹轴伸，19 齿英制内花键

（续）

序号	型 号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	额定励磁电流/A	最小励磁电流/A	定额/min	适用于	结构特点
8	XQT-2.2-9H2	2.2	36	80	2800	他励	8.5	4.4	60	高尔夫球车	方法兰连接，凹轴伸，内花键出轴($m=1$，$z=18$)
9	XQT-2.2-10H2	2.2	36	76	2200	他励	7.5	4	60	高尔夫球车	方法兰连接，凹轴伸，内花键出轴($m=1$，$z=18$)
10	XQT-2.2-11H2	2.2	36	76	2200	他励	7.6	3.8	60	高尔夫球车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
11	XQT-2.2-12H	2.2	48	57	2300	他励	7	3.5	60	高尔夫球车	方法兰连接，凹轴伸，内花键出轴($m=1$，$z=18$)
12	XQT-2.2-13H	2.2	48	57	2300	他励	7	3.5	60	高尔夫球车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
13	XQT-3-1H	3	45	87	1780	他励	10.3	5.2	60	游览车	花键出轴（6-20×16×4）
14	XQT-3-5H2	3	48	78	2800	他励	9.4	4.7	60	高尔夫球车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
15	XQT-3-6H2	3	48	78	2800	他励	9.4	4.7	60	高尔夫球车	方法兰连接，凹轴伸，内花键出轴($m=1$，$z=18$)
16	XQT-3-8H	3	48	76	2800	他励	8	4	60	高尔夫球车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
17	XQT-4H	4	48	101	2800	他励	11	5.5	60	高尔夫球车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
18	XQT-4AH									电动汽车	
19	XQT-4BH									高尔夫球车	
20	XQT-4CH										

（续）

序号	型 号	额定功率/kW	额定电压/V	额定电流/A	额定转速/(r/min)	励磁方式	额定励磁电流/A	最小励磁电流/A	定额/min	适用于	结构特点
21	XQT-4DH										
22	XQT-4-7H	4	72	67	2800	他励	7	3.5	60	电动汽车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
23	XQT-5H	5	45	139	1480	他励	15	7.5	60	游览车	花键出轴（6-28×23×6）
24	XQT-5-5H	5	67	93	1500	他励	9.5	4.7	60	游览车	花键出轴（6-28×23×6）
25	XQT-5-6H	5	45	139	1800	他励	15	7.5	60	游览车	花键出轴（6-28×23×6）
26	XQT-5-7H	5	72	84	2800	他励	9	4.5	60	电动汽车	无端盖凹轴伸，19齿英制内花键
27	XQT-5-7AH										
28	XQT-5-10H										
29	XQT-5FH										
30	XQT-6.3-3H	6.3	67	113	1500	他励	13	6.5	60		花键出轴（6-28×23×6）
31	XQT-6.3-4H	6.3	90	84	2000	他励	8.5	4.3	60	电动汽车	花键出轴（6-28×23×6）
32	XQT-6.3-6H									电动汽车	
33	XQT-6.3-6AH									电动汽车	
34	XQT-7.5-1H	7.5	90	100	2000	他励	9.1	4.6	60	电动汽车	花键出轴（6-28×23×6）
35	XQT-8.5H									电动汽车	
36	XQT-8.5AH									电动汽车	

2. 早年生产的蓄电池车辆直流电动机型号及规格（见表4-6）

表4-6 早年生产的蓄电池车辆直流电动机型号及规格

型号	电压/V	功率/kW	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	工作方式		质量/kg	使用场所	生产厂
						短时/min	断续(%)			
ZXQ-65/48	48	6.5	158	1800	串励	15		77		A
ZXQ-55/48	48	5.5	135	1600	串励	30		75	轿车，驱动	A
ZXQ-50/48	48	5	124	1400	串励	30		76		A
ZXQ-45/48	48	4.5	112	1300/1500	串励	60		82		A
ZXQ-40/30	30	4	168	720/960	串励	30		115	叉车行走或油泵	A
ZXQ-13.5/30	30	4	186	920	串励	3		50	叉车行走或油泵	A
ZXQ-13.5/30	30	1.35	62	1730	串励	60		50	叉车行走或油泵	A
ZXQ-13.5/30	24	1.35	78	1300	串励	60		50	叉车行走或油泵	A
ZXQ-25/40	48	3	78	1500	串励	60		65	轿车驱动	A
ZXQ-20/40	40	2.5	78	1250	串励	60		65		A
ZXQ-12/48	48	1.2	34	1800	串励	5		30		A
ZQ-1	24	0.5	34.7	2100	串励		35	11	驱动托盘车	B
ZQ2-1	22	2		2400	串励	90		32	叉车行走	B
ZQ2-2	22	2		2400	串励		40	36	叉车行走，带制动器	B
ZQD2-5	22	2		2200	复励		40	32	叉车油泵驱动	B
ZQD4-2	22	4		2400	复励	5		40	叉车油泵驱动	B
ZQD4-3	22	4		2400	复励		15	43	油泵驱动	B
ZQD4-4	22	4		2400	复励	5		43	油泵驱动	B
ZXQ-40/50	45	4	110	1600		60		87		C
ZXQ-5	48	5	130	1100		60		110		D
ZXQ-6	48	6	160	2400		15		58		D
ZXQ-13.5/30	30	1.35	60	1730		60		45		E
ZXQ-40/30	30	4	170	920		60		120		E
ZQB-70/48	48	7	178	2400		60		76		E
ZQB-50/48	48	5	126.5	1200		60		106		E
ZQB-30/40	40	3	94.5	1500		60		76		E
ZQS-1	80	1.3		1020		60				E
ZQS-2	40	1.85		785		60				E
ZQD-3	40	3	94.5	1500		60				F
ZQD-5	64	5	95	1500		60				F
ZQD-10	64	10	200	1500		15				F
XQ5-3	48	5	130	1100					叉车行走	C
IXQ-6	48	6	162	2400					叉车油泵	C
XQD-0.55	45	0.55	17.5	2000		60			叉车转向	A

注：A—上海南洋电机厂；B—湘潭电机厂；C—湖北江岸车辆厂；D—西安电机厂；E—辽源电机厂；F—抚顺汽车电机厂。

3. 常银电机电器有限公司

生产的直流电动机型号及规格见表4-7。部分产品外形如图4-1所示。

表 4-7 蓄电池车辆电动机主要型号规格

序号	电动机型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	最高转速 /(r/min)	励磁方式	工作制 /min	绝缘等级	防护等级	转向 (轴伸端视)	质量 /kg	结构形式	适用于
1	XQD-0.25	0.25	4.5	8.8	1500	3000	复	15	F	IP20	逆	12	带电磁制动器(常闭)	0.5t 堆垛机侧移转向油泵
2	XQD-0.55-3	0.55	45	18.5	1450	2800	复	30	F	IP44	逆	13	卧式带底脚、扁口凹轴伸	1~2t 转向油泵
3	XQD-0.75-1	0.75	75	14.2	1900	3000	复	30	F	IP20	逆	13	卧式带底脚、扁口凹轴伸	2~3t 转向油泵
4	XQD-0.75-2	0.75	45	25	1650	2800	复	15	F	IP20	逆	12	卧式带底脚、扁口凹轴伸	2~2.5t 转向油泵
5	XQD-2.2	2.2	22	138	1700	3200	复	15	F	IP20	逆	44	单键圆轴伸	0.5~1t 主油泵
6	XQD-2.2-1 XQD-2.2-18	2.2	22	138	1700	3200	复	15	F	IP20	逆	44	扁口凸轴伸	0.5~1t 主油泵
7	XQD-4-6	4	22	240	2200	3200	复	5	F	IP20	逆	40	卧式带底脚、扁口凹伸轴	1~1.5t 主油泵
8	XQD-5	5	45	148	2000	3200	复	5	F	IP20	逆	42	内花键凹轴伸	1~1.5t 主油泵
9	XQD-5-1	5	45	148	2000	3200	复	5	F	IP20	逆	42	内花键凹轴伸	1~1.5t 主油泵
10	XQD-5-2	5	45	148	2000	3200	复	5	F	IP20	逆	42	卧式带底脚、内花键凹轴伸	1~1.5t 主油泵
11	XQD-6.3	6.3	45	172.8	2000	3200	复	15	F	IP44	逆	72	卧式带底脚、内花键凹轴伸	1.5~2t 主油泵
12	XQD-7.5-2	7.5	45	205	2000	3200	复	15	F	IP44	逆	72	卧式带底脚、内花键凹轴伸	1.75~2t 主油泵

（续）

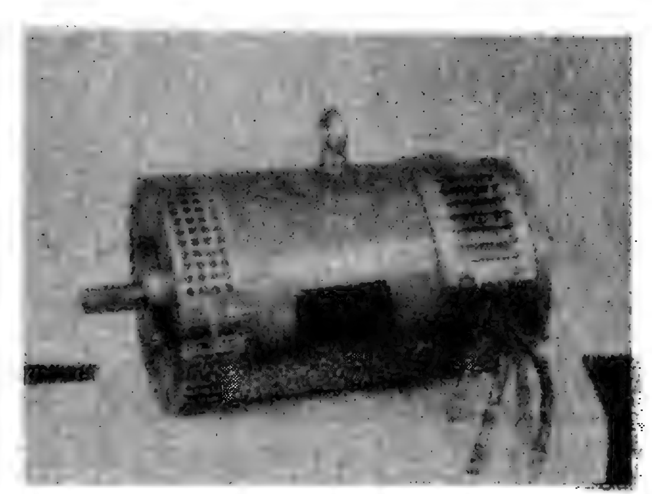
序号	电动机型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	最高转速/(r/min)	励磁方式	工作制/min	绝缘等级	防护等级	转向(轴伸端视)	质量/kg	结构形式	适用于
13	XQD-10-3	10	75	161.6	2000	3200	复	15	F	IP20	逆	83	卧式带底脚、内花键凹轴伸	2.5～3t主油泵
14	XQ-2.2-1 XQ-2.2-18	2.2	22	135	1600	3200	串	60	F	IP20	双向	44	单出轴	1～1.2t行走
15	XQ-2.2-2	2.2	45	65	2400	3200	串	60	F	IP20	双向	43	单出轴	0.5t堆垛机行走
16	XQ-2.2-4	2.2	45	64	1900	3200	串	60	F	IP20	双向	40	花键出轴	1.25t行走
17	XQ-3 XQ-3-1	3	45	87	1780	3200	串	60	F	IP20	双向	48	花键出轴	1.25～1.75t三支点行走
18	XQ-3-2	3	22	190	1500	3200	串	60	F	IP20	双向	70	花键出轴	1～1.35t三支点行走
19	XQ-4	4	45	110	1700	3200	串	60	F	IP20	双向	85	花键出轴	1～1.35t行走
20	XQ-4-1	4	45	110	1700	3200	串	60	F	IP20	双向	90	单键圆锥出轴	1～1.35t行走
21	XQ-4.5	4.5	45	125	1350	2800	串	60	F	IP20	双向	97	单键圆锥出轴	1.2t行走
22	XQ-5 XQ-5-1	5	45	139	1480	3200	串	60	F	IP20	双向	95	花键出轴	1.5～1.75t行走
23	XQ-6.3-1A	6.3	45	173	1200	2400	串	60	F	IP20	双向	112	花键出轴	2～2.5t行走
24	XQ-6.3-2	6.3	45	173	1200	2400	串	60	F	IP20	双向	113	花键出轴	2～2.5t行走
25	XQ-10-1	10	75	165	1200	2000	串	60	F	IP20	双向	135	花键出轴	2～3t行走
26	XQ-0.55-1	0.55	22	38	2100	3200	串	30	F	IP44	双向	11	卧式单出轴带制动器（常开）	0.5～1t行走

（续）

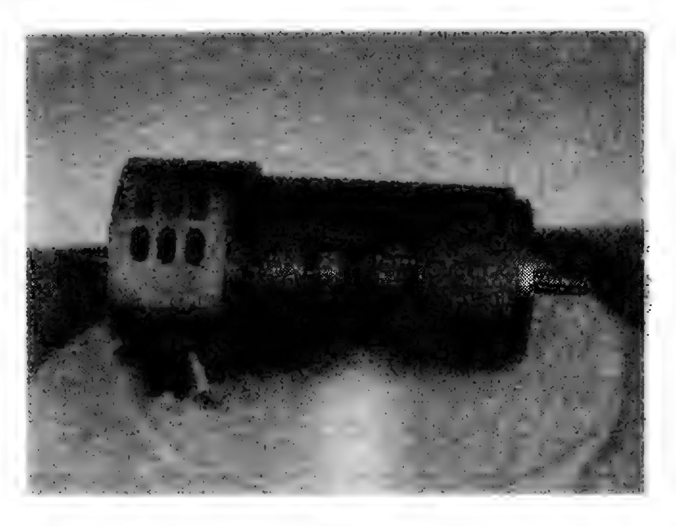
序号	电动机型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	最高转速/(r/min)	励磁方式	工作制/min	绝缘等级	防护等级	转向（轴伸端视）	质量/kg	结构形式	适用于
27	XQ-0.75	0.75	22	50	2400	3200	串	30	F	IP20	双向	11	卧式双出轴	0.5～1t行走
28	XQ-0.75-1	0.75	22	50	2400	3200	串	30	F	IP44	双向	13	卧式单出轴带制动器（常开）	0.5～1t行走
29	XQ-3-3	3	40/45	97/90	1500/1800	3200	串	60	F	IP44	双向	75	单键圆锥出轴	2t行走
30	XQ-3-3A	3	40/45	97/90	1500/1800	3200	串	60	F	IP44	双向	75	单键圆锥出轴	2t行走
31	XQ-3-3D	3	40/45	97/90	1500/1800	3200	串	60	F	IP44	双向	75	单键圆锥出轴	2t行走
32	XQ-3-3E	3	40/45	97/90	1500/1800	3200	串	60	F	IP44	双向	75	单键圆锥出轴	2t行走
33	XQ-4.5A	4.5	45	125	1350	2800	串	60	F	IP20	双向	97	单键圆锥出轴	3t行走
34	XQ-4.5-1	4.5	45	125	1800	3200	串	60	F	IP20	双向	89	单键圆锥出轴	3t行走
35	XQ-6.3-28	6.3	45	173	1200	2400	串	60	F	IP20	双向	112	花键出轴	5t行走
36	XQ-2.2-6	2.2	48		2800		串		H				18齿内花键	高尔夫球场车、游览车
37	XQ-3-1	3	45		1780		串		F				6D-20×16×4外花键	高尔夫球场车、游览车
38	XQ-3-4T-2	3	48		2600		他		H				19齿内花键	高尔夫球场车、游览车
39	XQ-3-5T-1	3	36		3100		他		H				19齿内花键	高尔夫球场车、游览车
40	XQ-3.8	4	48		3600		他		H				19齿内花键	高尔夫球场车、游览车
41	XQ-5-8	5	72		1500		串		F				6D-28×23×6外花键	高尔夫球场车、游览车



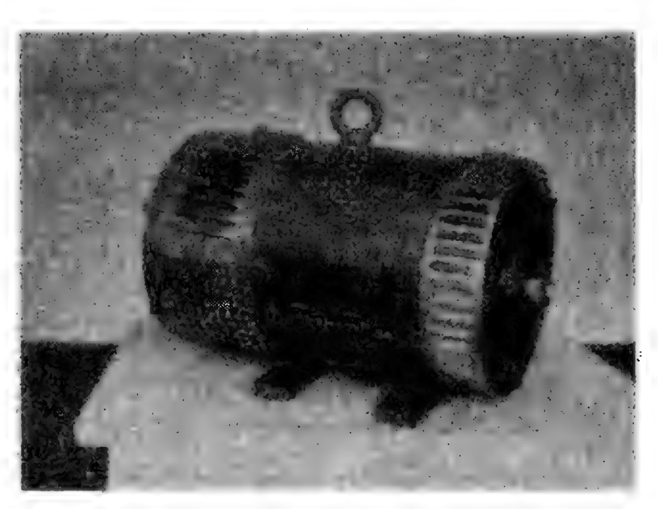
XQ–0.75–1直流牵引电动机



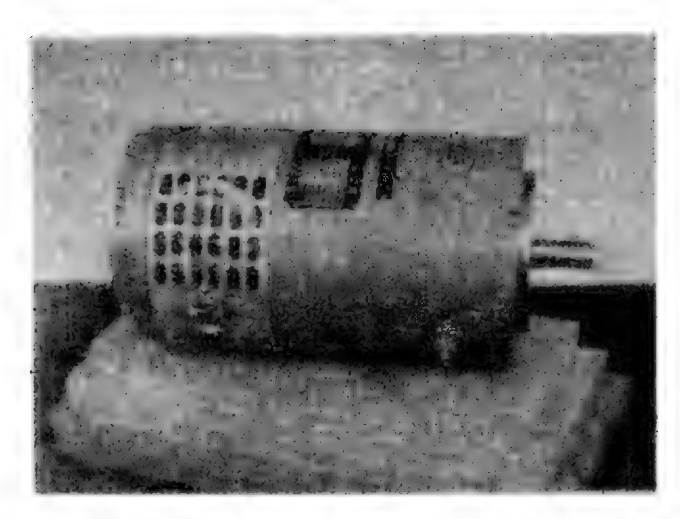
XQ–5直流牵引电动机



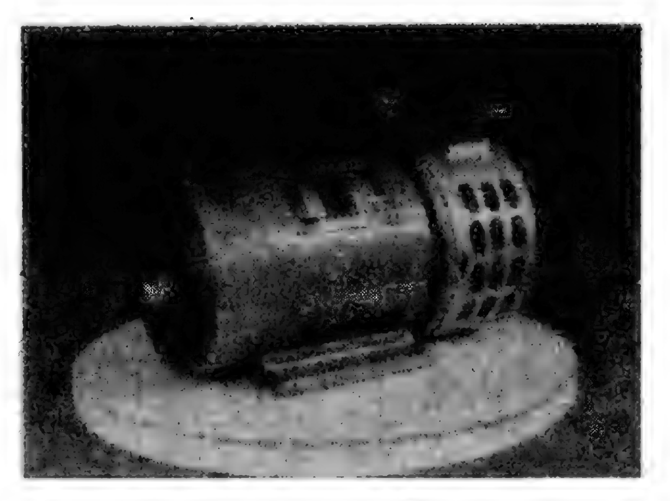
XQ–0.75直流牵引电动机



XQD–6直流牵引辅助电动机



XQD–2.2直流牵引辅助电动机



XQD–0.55直流牵引辅助电动机

图4-1 常银电机电器公司部分电动机产品外形

4. 常州宝罗电机股份有限公司

生产的蓄电池车辆用直流电动机规格基本同华盛电机厂的产品。部分电动机产品外形如图4-2所示。



图 4-2　宝罗电机公司部分电动机产品外形

三、电动三轮车用直流牵引电动机

人力三轮车改造为电力驱动，牵引电动机的型号为 QZ-350，其主要额定数据为

输出功率：350W　　额定电压：48V

效率：　65%　　额定电流：11.2A

重量：　30kg（含齿轮箱）

该电机为串励直流电动机，其效率仅为65%，在平道上载重量为180kg行驶时，时速为15km/h，电流为10A，但在带7°的上坡段，电流约为38A，时速则降为3～5km/h。电动三轮车由于蓄电池容量有限，要充分利用好有限的能源，必须尽量减少各个环节的损耗和配件的重量，为此研制出了 160-QZYP-350-丁型永磁盘式直流牵引电动机，其主要额定数据为

输出功率：350W　　额定电压：48V

额定转速：2700r/min　　效率：　86.2%（实测）

绝缘等级：B　　工作制：　小时工作制

额定电流：9A

重量：　8kg（含齿轮箱）

该电动机为直流永磁式，磁钢选用钕铁硼永磁体，其磁性能为剩磁通密度 1.05～1.12T，磁能积$(BH)_{max}$=24～27kJ/m^3，允许工作温度为120℃，由此可见，剩磁通密度及磁能积、最高工作温度均达到了较理想的性能。该电动机通过装车实测，在端电压及载重与串励直流电动机相同的情况下，在平道上行驶时速为 14.5km/h 的电流仅为 8A，减小了 2A。而在 7°上坡段行驶时，电流为40A，速度达 7～8km/h，较前快了约一倍。特别是在相同输出功率条件下，永磁电动机的效率高出 20% 以上，特别是齿轮箱体积大大减小，重量减轻 22kg。

通过对牵引电动机的更新换代，为全面提高整车性能创造了条件，为取代人力三轮车提供了一种比较理想的关键配套件。

除了人力三轮车改电动机驱动外，目前还有以运输货物为主的电动平板三轮车也十分畅销，特别适用于城郊短途货物运输，由于其制动系统不完善，所以仅可用于郊外人流密度较少的地区。

电动三轮平板车牵引电动机技术数据如下：

额定功率：800W　　额定电压：48V

额定电流：21.3A　　最高转速：3200r/min

该电动机最早功率为600W，电流为16A，后来由于客户需要拉得多，才提高到上述数据，实际电动机并无任何变化。随着电动三轮平板车销量日益扩大，现价位已到达每辆0.6万元，电动机甚至跌破400元。一些车主为了赚取更多的利润，又在跑得快上动脑筋，4组12V的蓄电池加装为5组，迫使电动机提高电压为60V，因此目前此牵引电动机的技术规格如下：

额定功率：1000W　　额定电压：60V

额定电流：21A　　额定转速：740r/min

工作制：30min　　传动比：36:12

电动三轮车的额定速度：31.6km/h

该电动机的外形如图4-3所示。

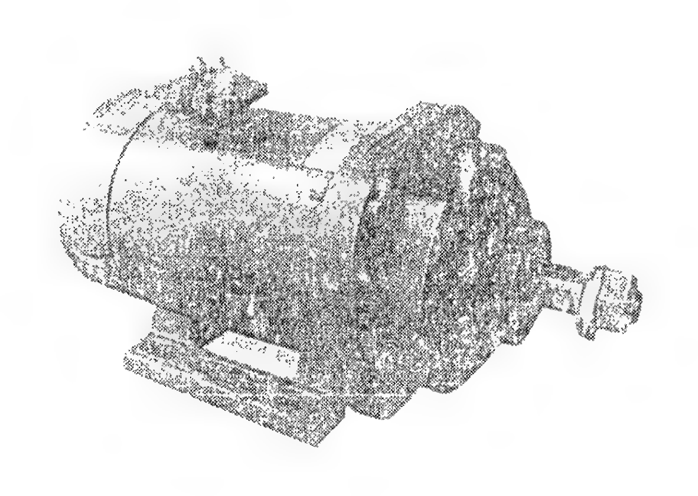


图4-3　电动三轮车牵引电动机外形

目前不少制造厂商将电动机的绝缘等级由B提高为F或H级，额定电流提高到25A，则额定功率已达1.2kW。

这种蓄电池三轮车电动机在实际使用中，质量状况非常不好，一般在半年左右的时间，电枢都被烧损，究其原因，大致有以下几方面原因：

1）电动机本身设计问题

总导体数　$N_C = 2\omega_s K = 2 \times 3 \times 40$ 根 $= 240$ 根

线负荷　$$AS = \frac{Ni_a}{\pi D_a} = \frac{240 \times 21}{\pi \times 7.4}\text{A/cm} = 216.9\text{A/cm}$$

该电动机电枢直径 $D_a = 74$mm，电枢绕组采用 ϕ1.04mm 的聚酯漆包圆铜线3根并绕，电枢绕组元件匝数 $N_s = 3$，电枢绕组电流密度 $J = 8.36\text{A/mm}^2$。

电枢发热因数 $Q = AS \cdot J = 216.9 \times 8.36 = 1813$。

无论是电枢绕组导线电流密度还是电枢发热因数，均已超过了封闭式电机在小时工作制工况下所允许的上限值。该电动机的原型设计，电流的上限为17A。

2）用户盲目追求拉货多、跑得快，其实际使用工况往往超越电动机本身的铭牌数据。有些短途运输钢材的业主，有时载货量达1t，实际使用电流超过规定的允许值。有的送货距离过长，连续运输有的超过2h以上。加上平时不注意电动机的维护保养，只要能开走就用。盖板掉落后地面油、水、灰尘进入电动机内（该电动机均装在三轮车后部车箱底下）。接线头松动也不拧紧后使用，运行条件之恶劣可想而知。电动机一旦烧损，车主为方便，都是约花300元钱左右，以旧换新。

3）制造质量低下。生产厂商不少是个体经营企业，生产设备及工艺条件较差，有的为了省事，电枢与升高片槽之间不焊接，光靠挤紧的力就要通过20A左右的电流，一旦该处接触不好，引起恶性循环，发热越来越严重就很快烧损。其他各方面的生产手段及条件也较差，电动机故障点多，是造成使用寿命短促的原因。

要改变目前这种被动的状况，除了要正确合理、精良的制作外，可以考虑转子用成型绕组的矩形槽，替代散嵌绕组的梨形槽，估计使用效果会有一定程度的改善，这当然要有必需的人力、物力的投入。

四、蓄电池电动车辆用三相异步电动机

畅想绿色未来，是2010年北京国际车展主题，2010年5月在上海举办的世博会上，很多场馆都展出了吸引眼球的新能源概念车。新能源车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源，综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术，形成的技术原理先进，具有新技术、新结构的汽车。它包括混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车、氢发动机汽车以及燃料汽车、醇醚汽车等。目前在市场上可以买到的新能源车大都是以燃油为主的油电混合车型。它综合了电动机和发动机两大动力的优点，在起动和低速行驶时，使用效率高的电动机动力来行驶，在加速和高速行驶时，通过电动机和发动机的配合，实现最高效率运转。减速时，发动机会自动停止工作，减少燃料的消耗，而制动时所散失的能量会转化为电能，存储到蓄电池中。在刚出台的国家新能源汽车补贴方案中，对个人购纯电动车最高补贴达6万元，这些无疑向我们传达了一个信号：低碳、环保、人性化是未来汽车的发展方向。

江苏益茂电动车公司正在开发研制纯电动大巴公共汽车和纯电动家用轿车。大巴公共汽车充一次电需6h，可行驶200～250km，完全可满足目前公交车一天开行180～200km的要求，从而实现白天载客、夜晚充电的模式，一般电动轿车充一次电可行驶150km，最高车速能达到130km/h，完全能满足上下班及短途的需要，目前年产10万台电动汽车整车的生产基地正在加紧建设中。

目前电动汽车的驱动电动机较多采用有刷直流电动机，直接由车载蓄电池供电，用晶闸管式控制器斩波方式调速，能较好地满足电动汽车的使用要求，如频繁起动、高的起动转矩及宽广的调速范围等。目前存在的问题是品种规格还较少，由于批量小，加上控制器等综合成本还较高。若选用无刷直流电动机，虽可免去换向器及电刷的维护及提高可靠性等问题，但控制器更为复杂和成本更高。目前正在研制利用开关磁阻电动机加调速装置控制器作为电动汽车的驱动，开关磁阻电动机的外形和安装尺寸与同容量的Y系列异步电动机相同，只是出线盒较大，其转子是凸极的实心体，带齿形，无绕组，转

子的极对数较定子少。定子也是凸极式，其上绕有集中绕组。控制器根据开关磁阻电动机上的转子位置传感器送来的信号，决定对其中最适宜的一相定子绕组励磁，这时与这对定子极最接近的一对转子极在电磁转矩的作用下，使转子极的轴线与定子极轴线相重合。依不同的次序给各对定子绕组励磁，就可得到不同的旋转方向，控制励磁的开关角及电流的幅值，得到不同的转矩和转速。通过这些控制方法的组合，可得到各种所需的输出特性，所以开关磁阻电动机有很好的适应性和灵活性。控制器除对指定的定子绕组进行励磁外，还对输入、输出电压进行监测、保护，并提供过电压、过电流和过转矩的保护。

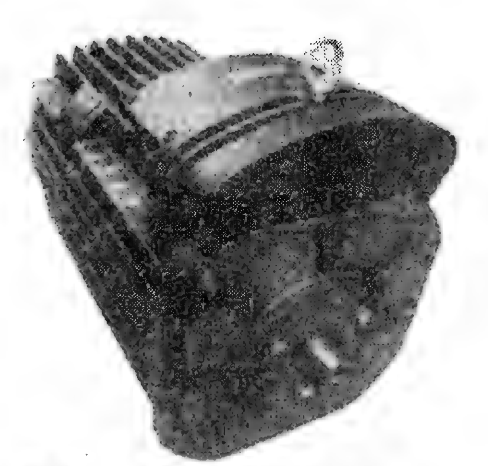
电动车辆的驱动，过去以直流电动机为主，经历了串励到他励直流驱动的几十年历程。随着低电压、大电流车用交流变频控制器的成功推出，以及国产系列化交流变频电动机的出台，为电动车辆采用交流变频电动机驱动奠定了良好的基础。

采用交流变频驱动系统的优势是十分明显的。首先，在动力性能上，低速时可以实现恒转矩控制，高速时实现恒功率控制，使得叉车在起动、平路运行和爬坡时的性能更好。第二，是控制系统实行了闭环控制，扩展了功能，包括再生制动、能量回馈、不同加速性能的设定、前进与后退不同速度的设定以及坡道防下滑等。第三是实现了电控装置、电动机的免维护，提高了使用的可靠性，也降低了使用维护成本。

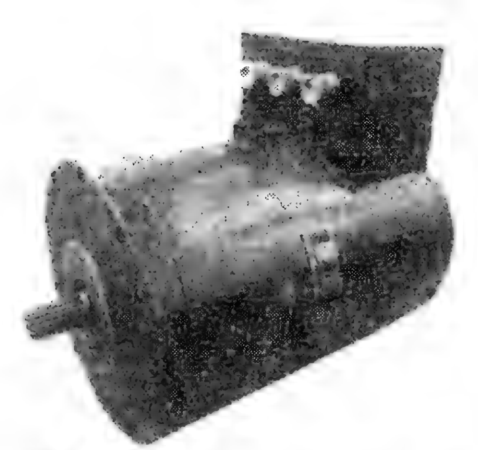
交流变频电动机的输出特性必须能满足动力性能。具体来说对于行走电动机既能满足满载平道运行的速度要求，又能满足满载爬坡的要求。其次是既能工作在电动机的高频区，也能工作在低频区。作为高性能电动机必须兼顾这两者的要求，并在设计中进行优化，使之达到最佳的效果。这里需要说明的是，根据我国相关的标准，我们所标定的功率是额定功率，但有些国外厂商标定是峰值功率，所以有时不能混同，更不能盲目跟风。一般在平道满载时所需驱动功率总是小于电动机额定功率。在车辆爬坡时，则根据不同坡度的要求，必须保证电动机有足够的转矩输出。如果此时电动机还是工作在额定转速附近，则它只能利用电动机在额定频率下的过载转矩特性，一般不会大于2.2倍的额定输出转矩，这样是很难满足要求的。所以这时就必须借助于控制器的变频特点，把频率往下调。下调的幅度与各电动机的磁负荷有密切的关系，把频率下调一定的幅度是没有问题的。这样在同功率情况下，电动机的转矩随着转速的下降而得到提升，且可以在此基础上再利用过载而获得更大的转矩，从而满足车辆爬坡的要求。由此，我们认为，电动车辆动力性能的好坏决定于车辆、电动机、控制器这三者之间的匹配与否，而且是十分密切相关的。为了优化性能，一般应该十分重视前期方案的沟通与确定。

由于交流变频驱动系统的技术比较成熟，性能价格比较合理，因此在未来相当长的一段时期内，成为电动车辆的主要驱动系统，将是不争的客观事实。当然，其他各种形式的电气传动系统也在不断进步与探索，如交流永磁系统、开关磁阻电动机驱动系统等。某种技术的领先总是相对的，技术的进步是永无止境的，只有不断努力、不断进步才能日臻完善，才能被用户认可，被市场接受。

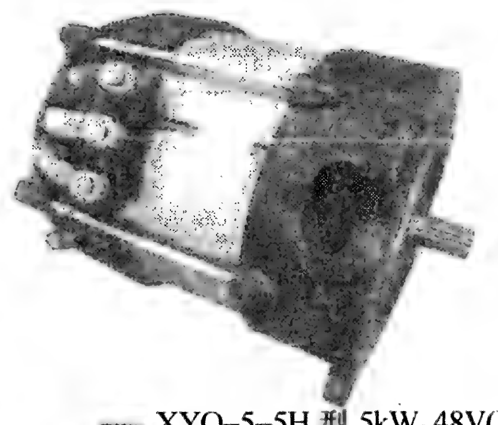
部分产品的外形及规格如图4-4所示。华盛电机厂生产的电动车辆用三相异步电动机产品规格见表4-8，部分产品外形如图4-5所示。



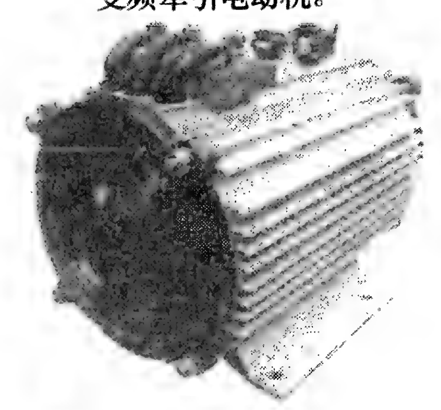
XYQB-12H 型12kW，80V(DC)。供“佳力”3.0t 配套的隔爆型三相交流变频牵引电动机。



XYQB-10-2H 型10kW，48V(DC)。供“衡阳合力”2.5t配套的隔爆型三相交流变频牵引电动机。



XYQ-5-5H 型 5kW，48V(DC)。供“力至优”FBR20～30配套的三相交流变频牵引电动机。



XYQD-8.2H 型8.2kW，48V(DC)。供“如意”三相交流变频油泵电动机。

图 4-4　几种三相交流变频牵引电动机

表 4-8　华盛电机厂三相异步电动机产品规格

序	电 机 型 号	蓄电池电压 /V(DC)	额定电压 /V(AC)	额定电流 /A	额定转速 /(r/min)	编码器输出信号 /(脉冲/r)	外形图图号
1	XYQ-0.9H	24	17	52	2300	32	0HS.300.260
2	XYQ-0.9AH	24	17	52	2300	32	0HS.300.342
3	XYQ-0.9BH	24	17	52	2300	32	0HS.300.448
4	XYQ-0.9-1H	24	17	48	3300	32	0HS.300.371
5	XYQ-1.1H						0HS.300.384
6	XYQ-1.2H	24	17	69	2300	32	0HS.300.261
7	XYQ-1.2AH	24	17	69	2300	32	0HS.300.328
8	XYQ-1.2BH	24	17	69	2300	32	0HS.300.332
9	XYQ-1.2CH	24	17	69	2300	32	0HS.300.334
10	XYQ-1.2DH	24	17	69	2300	32	0HS.300.413

（续）

序	电 机 型 号	蓄电池电压/V(DC)	额定电压/V(AC)	额定电流/A	额定转速/(r/min)	编码器输出信号/(脉冲/r)	外形图图号
11	XYQ-1. 2EH	24	17	69	2300	48	0HS. 300. 490
12	XYQ-1. 2-3H	24	17	64	3300	32	0HS. 300. 370
13	XYQ-1. 3H	24	17	72	2060	48	0HS. 300. 343
14	XYQ-1. 5H	24	17	77	2800	—	0HS. 300. 532
15	XYQ-1. 6H						
16	XYQ-2. 2H	24	17	105	2105	48	0HS. 300. 263
17	XYQ-2. 2BH	24	17	105	2105	48	0HS. 300. 477
18	XYQ-2. 5H	24	15. 6	128	3430	64	0HS. 300. 432
19	XYQ-2. 5-1H	24	15. 6	132	2104	64	0HS. 300. 437
20	XYQ-2. 5-3H	24	15. 4	130	3450	—	0HS. 300. 456
21	XYQ-2. 5-4H	48	32	62	2890		0HS. 300. 531
22	XYQ-2. 6H	24	15	155	1423	—	0HS. 300. 463
23	XYQ-3H	48	34	71	2300	48	0HS. 300. 288
24	XYQD-3H	24	17	154	2015	48	0HS. 300. 489
25	XYQD-3AH	48	34	71	2300	64	0HS. 300. 368
26	XYQD-3BH	48	34	71	2300	64	0HS. 300. 509
27	XYQB-3-1H	48	34	71	1200	64	0HS. 300. 362
28	XYQ-3-2H	48	34	71	2400	48	0HS. 300. 372
29	XYQ-3-2HV	48	34	71	2400	48	0HS. 300. 425
30	XYQ-3-2AHV	48	34	71	2400	48	0HS. 300. 533
31	XYQB-3. 5H	24	15. 6	180	1800	64	0HS. 300. 357
32	XYQ-4. 3H	48	31. 2	119	1145	—	0HS. 300. 416
33	XYQ-4. 5AH	48	34	106	1720	64	0HS. 300. 269
34	XYQ-4. 5BH	48	34	106	1720	64	0HS. 300. 270
35	XYQ-4. 5-1RH		27. 8	221	—	—	HS. 300. 389
36	XYQ-4. 5-1LH		27. 8	221	—	—	HS. 300. 390
37	XYQ-5H	48	34	118	2000	64	0HS. 300. 359
38	XYQ-5AH	48	34	118	2000	64	0HS. 300. 459
39	XYQ-5BH	48	34	118	2000	64	0HS. 300. 521
40	XYQ-5AHV	48	34	118	2000	64	0HS. 300. 461

（续）

序	电 机 型 号	蓄电池电压/V(DC)	额定电压/V(AC)	额定电流/A	额定转速/(r/min)	编码器输出信号/(脉冲/r)	外形图图号
41	XYQ-5-1H	48	34	113	2850	64	0HS. 300. 380
42	XYQ-5-1AH	48	34	113	2850	64	0HS. 300. 382
43	XYQ-5-1BH	48	34	113	2850	64	0HS. 300. 436
44	XYQ-5-2H	72	51	75	2850	64	0HS. 300. 379
45	XYQ-5-2AH	72	51	75	2850	512	0HS. 300. 379
46	XYQ-5-2BH	72	51	75	2850	512	0HS. 300. 525
47	XYQ-5-3H		15. 4	257	2500	—	0HS. 300. 410
48	XYQB-5-4H	48	34	117	2010	64	0HS. 300. 424
49	XYQ-5-5H		31. 5	129	2355	—	0HS. 300. 473
50	XYQB-5-6H	48	34	113	1423	64	0HS. 300. 520
51	XYQD-6H		15	328	1800	—	0HS. 300. 465
52	XYQDB-6. 5H	80	52	95	2600	80	0HS. 300. 303
53	XYQD-6. 9H		28	190	3022	64	0HS. 300. 438
54	XYQ-7. 5H	48	34	180	1535	64	0HS. 300. 207
55	XYQ-7. 5AH	48	34	173	1440	64	0HS. 300. 282
56	XYQB-7. 5H	80	52	105	2350	80	0HS. 300. 304
57	XYQ-7. 5-1H （电性能同 XYQ-7. 5-3H）	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 289
58	XYQ-7. 5-1AH （电性能同 XYQ-7. 5-3H）	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 377
59	XYQ-7. 5-1BH （电性能同 XYQ-7. 5-3H）	72	51	118	3440	512	0HS. 300. 478
60	XYQ-7. 5-1CH （电性能同 XYQ-7. 5-3H）	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 514
61	XYQ-7. 5-2H	48	34	172	3780	64	0HS. 300. 295
62	XYQB-7. 5-2H	48	34	162	1440	64	0HS. 300. 336
63	XYQ-7. 5-3H （电性能同 XYQ-7. 5-1H）	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 360
64	XYQ-7. 5-3HV （电性能同 XYQ-7. 5-1H）	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 426

（续）

序	电 机 型 号	蓄电池电压 /V(DC)	额定电压 /V(AC)	额定电流 /A	额定转速 /(r/min)	编码器输出信号 /(脉冲/r)	外形图图号
65	XYQ-7.5-3AH (电性能同 XYQ-7.5-1H)	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 420
66	XYQ-7.5-3AHV (电性能同 XYQ-7.5-1H)	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 511
67	XYQ-7.5-3BH (电性能同 XYQ-7.5-1H)	72	51	118	3440	512	0HS. 300. 450
68	XYQ-7.5-3CH (电性能同 XYQ-7.5-1H)	72	51	118	3440	64	0HS. 300. 475
69	XYQ-7.5-4H	48	34	180	1535	64	0HS. 300. 407
70	XYQB-7.5-4H	48	34	169	2500	64	0HS. 300. 408
71	XYQB-7.5-5H	48	34	164	2350	80	0HS. 300. 446
72	XYQ-8A	48	32	188	3190	64	0HS. 300. 407
73	XYQD-8.2H	48	34	190	2000	64	0HS. 300. 237
74	XYQD-8.2AH	48	34	208	2000	64	0HS. 300. 405
75	XYQDB-8.2-1H	48	34	184	2000	64	0HS. 300. 337
76	XYQDB-8.2-1AH	48	34	184	2000	64	0HS. 300. 422
77	XYQ-8H	48	34	189	1278	64	0HS. 300. 529
78	XYQB-8.5H	48	34	184	2350	80	0HS. 300. 524
79	XYQDB-8.5H	80	52	125	2600	80	0HS. 300. 229
80	XYQD-8.8H	48	30	238	1792	—	0HS. 300. 423
81	XYQ-9H	72	45	153	2926	64	0HS. 300. 191
82	XYQ-9AH	72	45	153	2926	64	0HS. 300. 271
83	XYQ-9BH	72	45	153	2926	64	0HS. 300. 458
84	XYQD-9H	48	32	222	2300	64	0HS. 300. 486
85	XYQD-9AH	48	32	222	2300	64	0HS. 300. 501
86	XYQ-9-1H	48	34	205	2000	64	0HS. 300. 444
87	XYQD-9.5H	48	27.8	275	1727	—	0HS. 300. 387
88	XYQD-9.5-1H	48	27.8	275	1727	—	0HS. 300. 400

（续）

序	电 机 型 号	蓄电池电压/V(DC)	额定电压/V(AC)	额定电流/A	额定转速/(r/min)	编码器输出信号/(脉冲/r)	外形图图号
89	XYQ-10H	48	34	226	1630	64	0HS. 300. 239
90	XYQ-10-1H	72	47	159	2926	64	0HS. 300. 457
91	XYQD-10H	48	34	233	1800	64	0HS. 300. 392
92	XYQD-10-1H	48	32	243	2900	64	0HS. 300. 510
93	XYQD-10-1AH	48	32	243	2900	64	0HS. 300. 526
94	XYQB-10H	80	52	160	2350	80	0HS. 300. 214
95	XYQB-10-2H	48	34	215	1600	64	0HS. 300. 464
96	XYQ-10-4BH	144	101	75	3440	512	0HS. 300. 507
97	XYQ-11H	48	34	247	3570	64	0HS. 300. 294
98	XYQD-11H	48	30	297	1742	—	0HS. 300. 471
99	XYQB-11-1H	80	50	164	2408	64	0HS. 300. 505
100	XYQ-11-2H	80	52	155	2395	64	0HS. 300. 519
101	XYQ-11-4H	48	34	249	1228	64	0HS. 300. 527
102	XYQB-12H	80	52	168	2635	80	0HS. 300. 383
103	XYQ-12-1H	80	52	169	2395	64	0HS. 300. 528
104	XYQ-12-2H	96	64	141	3600	64	0HS. 300. 530
105	XYQDB-12H	48	34	264	2687	64	0HS. 300. 470
106	XYQ-13H	80	51	195	3160	64	0HS. 300. 296
107	XYQD-13H	80	51	205	1800	64	0HS. 300. 297
108	XYQDB-13H	80	50	195	2673	64	0HS. 300. 504
109	XYQD-14H	80	52	211	2180	64	0HS. 300. 497
110	XYQD-14-1H	48	32	338	2730	64	0HS. 300. 492
111	XYQD-14-2H	80	52	114	2310	64	0HS. 300. 518
112	XYQ-15H	96	63	210	3600	64	0HS. 300. 364
113	XYQ-15-1H	72	47	237	2920	64	0HS. 300. 460
114	XYQ-15-3H	144	94	120	2920	64	0HS. 300. 467
115							

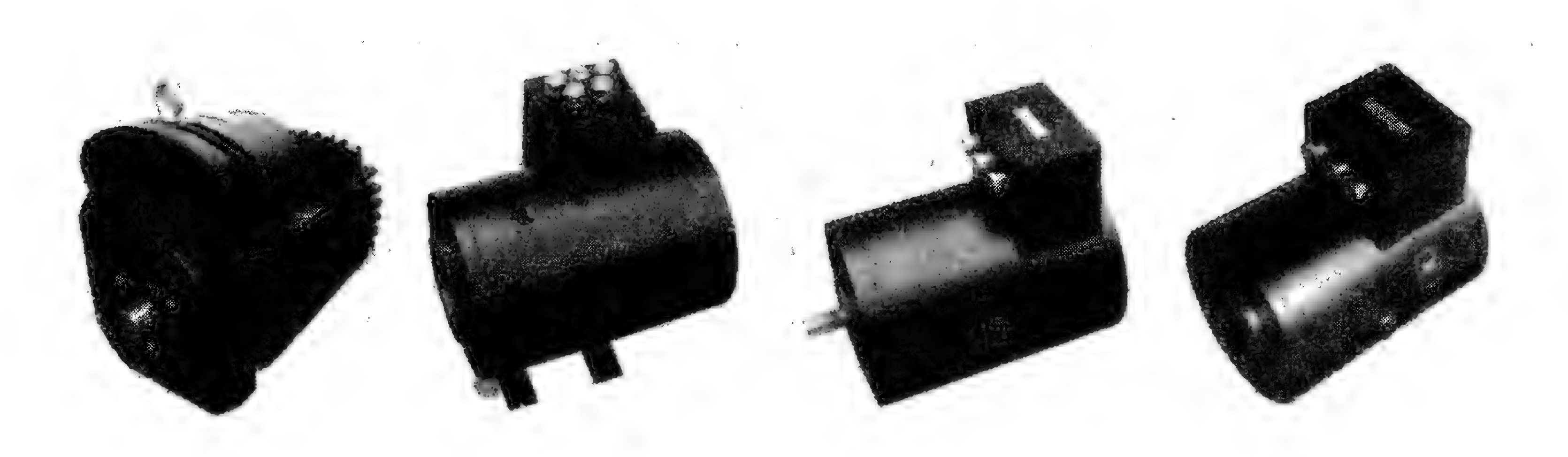


图 4-5 部分产品外形

第五章 铁道干线用三相异步牵引电动机的使用特点

一、三相异步牵引电动机变频调速的优点

异步电动机是由定子中产生的气隙旋转磁场与转子绕组中的感应电流的相互作用而产生电磁转矩，从而实现由电能转化为机械能的。由于异步电动机的转子绕组不需要与外部电源连接，而其定子直接与外电源相接，与其他电动机相比，具有结构简单、使用方便、运用可靠、重量较轻及价格低廉等一系列优点。它与同功率、同转速的直流电动机相比，三相异步电动机仅为1/2的重量和1/3的价格。异步电动机有单相和三相之分，单相异步电动机的功率都较小，常用于家用电器中，如吹风机、电风扇和洗衣机等。三相异步电动机广泛使用于国民经济中的各个部门，如拖动机床、水泵、鼓风机、起重卷扬设备、轻工业和农副业加工设备以及其他一般机械设备的动力，它是各种电动机中需求量最大、应用最广的一种电动机。90%的电气原动力均由异步电动机来承担，但大部分为小型Y系列及其派生系列产品。由于异步电动机转子的转速与其定子旋转磁场的同步转速之间是呈一定差异关系，如最常用的4极和6极三相异步电动机，其定子的同步转速为1500r/min和1000r/min，而转子的转速约为1450r/min和960r/min左右，即定子的旋转磁场转速与转子的实际转速之间有差异，“异步”电动机即由此而来。由于三相异步电动机的转速基本由其极数所决定，成为一个固有的转差关系，因此它并不适合使用于需要调速的场合，如要求有较宽广的平滑调速的场合，如传动轧机、卷扬机、大型机床及机车、动车牵引等。虽然也有很多特殊派生的系列如YCT系列电磁调速异步电动机、YD系列变极多速异步电动机、YCJ系列齿轮减速异步电动机及YZS系列三相异步换向器变速电动机等具有一定的调速性能，但都具有很多的局限性，如调速范围不够宽，电动机功率不够大、电动机附属装置复杂及麻烦等，远不如采用直流电动机经济、方便、性能好，特别是串励直流电动机的软特性非常适合在牵引领域使用，这就是在过去数十年间在铁道干线机车、动车及工业矿山机车和其他流动车辆领域里，具有串励特性的直流电动机长期占主导地位的原因。

随着现代电力电子器件、智能功率集成模块的问世，控制理论及微电子技术的发展，使异步电动机的变压变频调速得以顺利实现，从而使交流变频传动广泛应用于国民经济各部门，并正在逐步替代直流传动系统，同时随着大功率门极关断（GTO）晶闸管等的日趋完善并商用化和以微处理器为核心的数字控制技术的发展，更促进了交流变频传动系统在整个牵引领域特别是大中型机车、动车等轨道交通车辆中的应用。

根据三相异步电动机的结构特点，当应用于牵引领域替代现行的直流牵引电动机使用时，有着显著优越的技术经济指标，而且持续功率大、体积小和重量轻，具体来说有以下优点。

1）功率大、体积小、重量轻。与带换向器的直流电动机相比，在相同的输出功率条件下，其重量仅为直流电动机的60%左右，这主要是由于异步电动机没有换向器，可以在更高的圆周速度下运转，而且不会受直流、脉流电动机中所谓电抗电动势及最大片间电压等的限制。如我国目前最大功率的直流电动机，中心高为630mm，功率达1200kW,. 电流接近2000A，但其最大转速只有800r/min，重量约为10t，这种直流电动机不能完全适应机车牵引的恶劣工况条件，也满足不了牵引性能的要求，如此庞大的体积、重量也是机车车身所无法容纳和承受的，况且制造上的难度及可靠性无法满足轨道交通的要求。而三相异步电动机由于没有换向器和电刷装置，在相近的重量和体积下，功率可提高到1400～2000kW，这对发展高速运输将是十分重要的。

2）结构简单、牢固，维修工作量大大减少。因为三相异步牵引电动机没有换向器和电刷装置，转子上没有绝缘，所以平时不需要检查换向器和电刷，除去轴承的润滑之外，几乎不用进行经常的维护。

3）有良好的适合牵引的性能。合理地设计三相交流牵引电动机的调频、调压特性，可以实现宽广范围内的平滑调速，充分满足机车运行的需要，同时其较硬的特性，有自然防空转的性能，使粘着利用提高，在相同粘重（粘着重量）的条件下，牵引力可提高约30%。另外，三相异步电动机对瞬时的过电压和过电流不很敏感，使它在起动时能在更长的时间里产生高的起动转矩。

4）若要改变三相异步牵引电动机旋转方向，不需要改变机车的主电路，而仅仅需要通过改变控制系统中变频器任意两相晶闸管的触发顺序即可改变电动机旋转方向。当从牵引工况向再生制动工况转换时，只需将晶闸管的触发延迟角调节到与再生制动状态相适应，不要任何附加装置即可向电网反馈电能。以上的转换均是属于无触点的转换，节省了元器件，如转换主电路的反向器和牵引-制动转换开关及主电路转换用的直流接触器等。

5）节能效果非常显著。采用全控型门极关断晶闸管变频器的交流传动装置，比相同容量下使用斩波调速的直流传动装置时，效率可提高6%～7%。据有关资料介绍，一辆5600kW的机车每小时可节电392kW·h，若按年运行3000h计算，则全年节电可达100多万kW时，显著的节能效果，将会带来明显的经济效益。

6）由于三相异步牵引电动机可靠性高，无故障运行时间有望从原来的30万km提高到80万km。

目前在国际上，交流传动车辆处于领先水平的日本和德国基本上都是采用GTO晶闸管-VVVF逆变变频器和异步牵引电动机配套组成的变频传动系统。

异步牵引电动机变频调速的基本原理用下列公式说明：

$$n = (1 - s)n_1 = (1 - s)\frac{60f_1}{p}$$

式中 n——电动机的实际转速（r/min）；

n_1——电动机的同步转速（r/min）；

s——转差率，$s = (n_1 - n)/n_1$；

f_1——电源频率（Hz）；

p——电动机极对数。

其中，变极数调速方法只能是有级调速，一般最多改变四种极数而达到四级调速。改变转差率的调速方法，其调速的范围是很有限的，因此这些方法均不适应机车牵引领域所需的平滑宽广的调速要求。变频调速与上述两种方法有着本质的不同，它是通过改变定子供电频率的方法改变同步转速，以达到宽范围调速的目的。变频调速的方法不论是高速还是低速区段，转差率都保持有限的低值，因而具有调速范围宽、系统效率高、调节精度高的优点，是一种理想的调速方法。

变频调速下异步牵引电动机的机械特性形状都相似，呈马鞍形，但在不同f_1时，其机械特性分布的转速范围和翻转转矩M_{max}的大小不同，这种变化可以用翻转转矩M_{max}和对应的转速n_k来代表，根据已经推导出的翻转转矩公式为

$$M_{max} = C_m \frac{4.44K_2N_2}{4\pi L_2} \cdot \frac{U_1^2}{(4.44f_1K_1N_1)^2} = C'_m \frac{U_1^2}{f_1^2}$$

$$C'_m = C_m \frac{K_2N_2}{4\pi \times 4.44K_1^2N_1^2L_2}$$

式中　K_2——转子绕组系数；

N_2——转子绕组匝数；

L_2——转子电感；

f_1——电源电压频率；

U_1——电源相电压有效值；

N_1——定子每相绕组匝数；

K_1——定子绕组系数；

C'_m——与电机结构有关的常数。

从公式可见，异步电机倾覆转矩M_{max}是与$(U_1/f_1)^2$成正比的。如果变频调速在U_1 = 常数的条件下进行，则$M_{max} \propto 1/f_1^2$或M_{max}随f_1^2成反比例变化，其机械特性的变化情况如图5-1所示。f_1增大，M_{max}减小；f_1减小，M_{max}增加。这种变化规律可以满足机车恒功率牵引特性的要求，如果变频调速是在U_1/f_1为常数的条件下进行，则M_{max}将是一个常数，这时的机械特性变化规律如图5-2所示。机械特性几乎是随f_1的不同而平移。必须指出，U_1/f_1 = 常数而使M_{max}不变是用U_1近似代换E_1的结果，实际上，E_1与U_1间相差一个电抗压降$I_1(X_{1s}+r_1)$。在频率f_1较高时，电压U_1较高，而电抗压降的相对值较小，因此近似代换后的误差也很小；但在低频率时，E_1本身就很小，而电抗压降相对突出（在电抗压降中，低频时的电阻压降I_1r_1又相对突出），致使上述近似代换有较大的误差，以致随f_1减小时，M_{max}略有下降。为了弥补这一点，在低频时随着f_1的减小，可以略微提高一些U_1值，以补偿电抗压降的影响，使E_1/f_1保持不变，以维持M_{max}不变。在低频条件下M_{max}不变，基本上就可以满足机车车辆低速起动时具有大而稳定不变的牵引力的要求。同理，利用U_1/f_1 = 常数的调节方法，可以获得地铁电动车组运行

中的恒转矩工况。

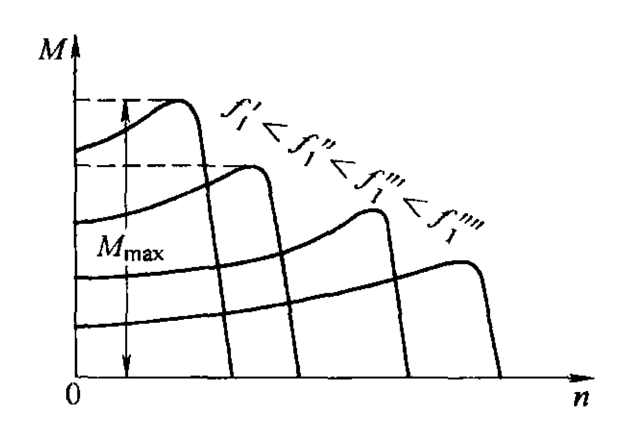


图 5-1 在 U_1 = 常数时异步电机机械特性随 f_1 的变化关系

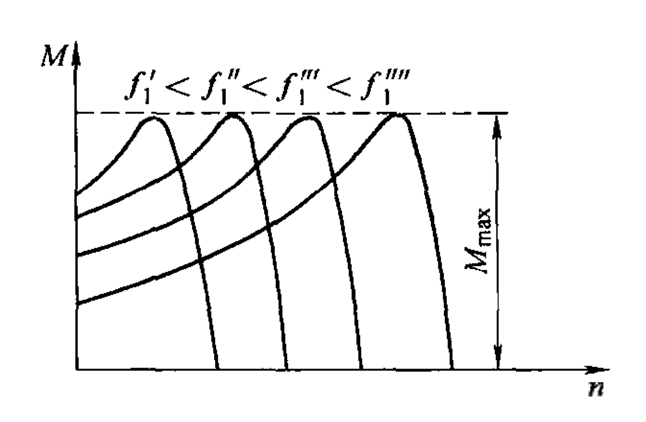


图 5-2 在 U_1/f_1 = 常数时异步电机机械特性随 f_1 的变化关系

在 U_1/f_1 = 常数的条件下，异步电动机旋转的气隙磁场每极磁通 Φ 是不变的，如果这时的磁通较接近于饱和状态，则可以认为异步电动机工作在全磁场工况；在 U_1 = 常数条件下，气隙磁通 Φ 将随 f_1 的增加而减少，则可以认为异步电动机工作在磁场削弱工况。

对于不同的机车车辆牵引性能的要求，例如恒转矩或恒功率控制等，则可按上述规律适当地配合运用，以获得满意的调速效果。

二、三相异步牵引电动机的结构与工作特点

三相异步笼型电动机是产量最大、应用最广的一种电动机。中型的三相异步电动机如 JS 系列和 JR 系列，前者是笼型转子，后者是绕线型转子。低压 380V 的，从 11 ~ 13 号机座，连续工作制功率到 300kW；高压 6 ~ 10kV 的，功率可达 1000kW，主要是从 14 ~ 15 号机座. 那么，这种中型 JS 和 JR 系列的三相异步电动机是否可以直接用作牵引电动机呢？回答是不能，因为异步牵引电动机的结构和工作性能特点必须满足牵引工况的特殊要求才行。近年来，大功率变流技术的迅猛发展，为三相异步电动机替代直流串励电动机打下了良好的技术基础。

异步牵引电动机的结构及设计特点如下。

1）由于异步牵引电动机的定子轭由硅钢片叠压而成，故其机座大多采用钢板焊接结构，而不像直流及脉流牵引电动机那样采用定子轭与机座合为一体的铸钢或钢板结构。近期设计的三相异步牵引电动机，为了改善电动机的散热，减小电动机的重量，牵引电动机的定子采用了无机壳的结构，它由定子冲片、前压圈、后压圈和置于定子铁心外圆处的若干条筋板通过焊接形成一个定子铁心的整体。这种结构能利用高速动车运行时的空气流动，加强了对异步牵引电动机的散热效果。

2）为了充分利用异步牵引电动机内部的轴向空间，所以都不采用占用轴向长度的径向通风道，而采用轴向通风道。异步牵引电动机都采用散热效果最好的强迫通风，进风口设在非传动端的端盖上，三路风分别从定子轴向通风孔、空气隙和转子轴向通风孔

进入电动机内部，从设在传动端端盖上的出风口出风，带走了大量的热量。根据需要，风量为 $100m^3/min$，静风压为 1500 ~ 2000Pa 左右。

3）由于异步牵引电动机是悬挂在机车的转向架上的，目前抱轴式的悬挂方式已很少采用，而是在机壳或两侧端盖上伸出多个带安装孔的挂耳再弹性地悬挂在转向架上。所以异步牵引电动机一般均有独特而专用的外形。

4）由于需耐受机车运行时剧烈的振动和冲击，因此三相异步牵引电动机定子和转子之间的空气隙较一般使用的中型异步电动机大，通常选 1.5 ~ 2.5mm 的单边气隙值。

5）选用国内配套和工艺可行的最高耐温及最优性能的绝缘等级，现常用耐电晕 200 级，以使异步牵引电动机获得高的技术经济指标和寿命可靠性。

6）由于异步牵引电动机在变频变压的条件下工作，很高的发热和运行速度，将使两端轴承的工作条件非常恶劣，所以在轴承的润滑、最大允许转速、径向游隙等方面正逐步采取一系列措施，以满足严酷的使用条件要求。如高转速高工作能力系数的轴承、大径向游隙的轴承、冷却润滑更好的油润滑等。

7）转子采用高强度、低损耗的铜合金导条焊接而成的笼型绕组及高强度的护环，这些都是专用铜合金材料制成，焊接工艺要求很高，有的采用整体中频感应钎焊。

8）异步牵引电动机的额定参数均以连续制定额进行设计和考核，而由于历史条件长期形成的原因，部分形式的大中型牵引电动机一直沿用小时定额考核。此外，一般三相异步电动机由于工作状况较简单，只需以额定点进行设计和考核即可，而异步牵引电动机由于是在变频变压的条件下工作的，其整个工作特性曲线分成起动、恒功恒压、恒功升压等阶段，既要考虑在牵引工况下的低速和高速段运行，还要考虑在制动工况下的运行，这些都给异步牵引电动机的设计带来更高的要求。

9）由于每根动轴上牵引电动机的功率要求越来越大，特别是由于接触网受流的干线电力机车已达到 1000kW 以上，相对于牵引电动机在车体下和轮轨间的有限的安装空间，迫使异步牵引电动机选用很高的电磁和机械负荷才能达到。另外，由静止逆变器供电电源的非正弦性，使各种附加损耗进一步增大，因此要求异步牵引电动机必须选用大通风量的强迫外通风，同时选用高耐温的绝缘等级，对导磁、导电、绝缘三大关键材料，必须选用高性能、高质量的材料。

机车的交流传动是一项非常复杂的系统工程，其中牵引变流器技术及其网络控制技术是最核心最关键的技术，另一个核心就是三相笼型异步牵引电动机。虽然异步电动机具有结构简单、可靠性高、体积小、重量轻、功率大、少维护等优点，没有了直流电动机换向器的复杂和麻烦，但是在技术上还存在很多难点。由逆变器供电时产生的高次谐波，使异步牵引电动机产生高的附加铜损耗及铁损耗、高的绝缘介电损耗和电晕、高的附加脉动转矩和电磁噪声等，此外其特殊的运行条件和安装空间，使其在总体布置和每一机械部件的设计，要保证足够高的可靠性、安全性，尽量做到少维护及免维护，给异步牵引电动机的结构和制造工艺上带来一系列如下的难度。

①交流变频调速电动机绝缘的使用可靠性问题。实践证明，绝缘早期损坏特别是匝间损伤是交流变频电动机最常见的故障。变频电源所产生的电脉冲有极高的开关频率，其电压波前沿产生一个尖锋电压，使绕组匝间产生表面局部放电。由于电离作用，在空气间隙中又会产生空间电荷，大部分感应电动势加在绕组的前两匝上，很大而时间很短的电冲击，极易造成匝间绝缘的损伤。为此异步牵引电动机应选择合适的电磁线，改善整个绝缘结构的整体性，制成无气隙绝缘，采用合理的加工工艺以提高其机械强度。我国目前制成的异步牵引电动机，几乎毫无例外地均制成 H 级及 200 级的高耐热抗电晕的绝缘体系。

②高速轴承的选型及其润滑系统。为适应机车高速度、高负荷的要求，异步牵引电动机的最高转速已达到 4000r/min 以上，JD128 电动机更要求 5000r/min 以上，而轴承又不能选小，所以在高转速和大轴承两者引成尖锐的矛盾，对轴承的选择和润滑提出了更高的要求。因此在润滑油的选择、油量的选择、防止齿轮油窜入电动机内部等方面均需采取有效的措施。

③必须采用无机壳定子铁心的结构。为了减轻电动机的质量、减小其空间尺寸及加强电动机的散热，异步牵引电动机都尽量采用无机壳的焊接式定子的结构，即由定子冲片、前压圈、后压圈和若干块筋板通过焊接形成一个定子铁心整体，其定子铁心内圆是不允许加工的，因此铁心内圆的形位偏差及与两端压圈止口的变形，成为该无机壳定子铁心的主要质量控制点，焊后残余应力释放而造成的变形可导致整个定子铁心报废。因此合理的定子铁心结构及尺寸，合理的焊接叠压模具及合适的焊接工艺等就显得十分重要，必须将定子铁心内圆焊接后的残余变形控制在 0.03mm 以内，两端止口的不同轴度控制在 0.025mm 以内，为确保电动机整体性能提供有力的保证。

④笼型转子端环与导条材质及其钎焊。异步牵引电动机的转子，由于运行在高温度、高转速和高振动的苛刻条件之下，需要承受多种复杂应力的作用，因此就很容易引起转子断条故障，其中端环与导条之间钎焊质量，对电动机运行可靠性更为重要。端环和导条的材料选择，首先要考虑有较高的高温机械强度和良好的钎焊性能，以期获得高可靠性的钎焊接头。钎焊工艺及钎焊材料的选择要满足钎焊总体要求。

典型的三相异步牵引电动机结构如图 5-3 所示。

三、高速高铁动车组用三相异步牵引电动机

机车电传动实质上就是牵引电动机的变速传动技术，不管是直流电动机还是交流电动机，只要能方便可靠地调节电动机的转矩和转速，实现对电动机的变速传动，就可以作为牵引电动机使用于机车上。

随着晶闸管等变频调速装置的日益成熟和可靠，使交流调速系统在机车电传动领域里得到了迅猛的发展，三相异步笼型牵引电动机在以下几种机车牵引用变频系统中得到了广泛的采用。一是直-交系统，即由直流接触网供电，通过逆变器完成由直流到三相交流电的转换，再供给三相异步牵引电动机。这中间可以采用直流斩波器调压。采用该系统的主要是城市地铁系统、有轨交通系统及原直流工矿牵引系统，如上海明珠 1 号线地铁系统等。二是交-直-交系统，即由单相或三相交流电压，经整流变为直流，再由逆

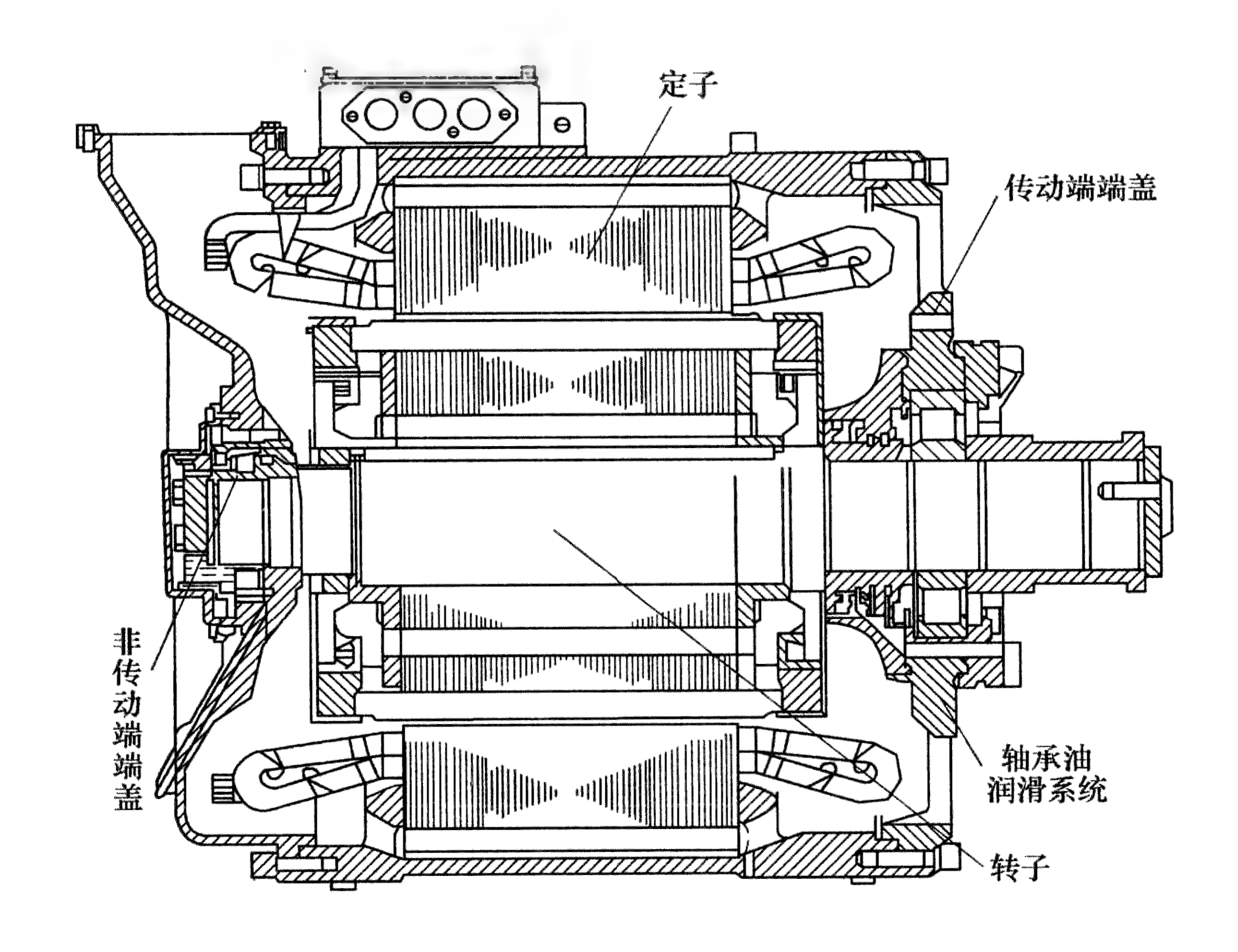


图 5-3　典型三相异步牵引电动机结构图

变器变为频率可调的三相交流电，供给三相异步牵引电动机，此系统又称为带直流中间环节的间接变频系统。三是交-交系统，该系统不经整流环节，单相或三相交流电压直接变为频率可调的三相交流电。单相变为三相的变频系统适用于单相交流电力机车。

动车组就是几节自带动力的车辆加几节不带动力的车辆编成一组就是动车组。它是城际和市郊铁路实现小编组、大密度的高效运输工具，以其编组灵活、方便、快捷、安全、可靠、舒适为特点，备受世界各国铁路运输和城市轨道交通运输的青睐。

通常看到的电力机车和内燃机车，其动力装置都集中安装在机车上，在机车后面拖着许多节没有动力装置的客车和货车车厢。如果把动力装置分散安装在每节车厢上，使其既具有牵引动力，又可以载客，这样的客车车辆便叫做动车，而不带牵引动力的车辆叫拖车。因此电动车组就有两种基本的动力配置方式——动力集中型和动力分散型。动力集中布置的主要缺点是动车的轴重较大，对线路不利，优点是电气设备的总重量较小、检修维护较方便。动力分散布置型能实现较大的牵引力、编组灵活、制动轮对多、效率高且调速性能好，切除一节故障动车后对全列车牵引性能的影响小，适合采用于限速区段多的线路。对于 300km/h 以上的高速列车及城市轨道车辆，优先采用动力分散型电动车组。

在高速动车组中，大多采用交-直-交电传动系统，牵引电动机则为三相笼型异步牵引电动机，表 5-1 列出牵引电动机的主要技术数据。

表 5-1　异步牵引电动机主要数据（一）

电 机 型 号	JD101	JD103	JD104	JD105	JD106	JD107	JD108	JD110	JD112	JD113
使用机车	内燃调车机车	AC4000原型车	空心轴式转向架	万向轴式高速动力车转向架	200km/h先锋号电动车组	架线式矿山机车	NJ_1 内燃调车机车	地铁工程维护车	160km/h中原之星电动车组	160km/h内燃动车组
额定功率/kW	190	1025	800	1100	300	37	165	100	200	430
额定电压/V	745	2180	1814	1950	2000	429	567	806	1170	1170
额定电流/A	210	360	327	384	108	58	242	94	118	256
额定转矩/(N·m)	5194	8550	5977	2954	756	450	5820	922	880	2699
额定转速/(r/min)	345	1151	1278	3300	3791	787	273	1036	2172	1523
最大转速/(r/min)	3600	2340	4000	4066	4739	2454	2510	2826	4258	4376
最高电压/V	935	2180	2180	1950	2000	507	1170	1404	1170	1170
绝缘等级	H	H	H	200	200	H	200	200	200	200
极数	6	6	6	6	4	6	6	4	4	4
悬挂方式	抱轴	抱轴	体悬挂	全悬挂	架承	架承	抱轴	架承	架承	架承
质量/kg	1800	2400	1800	1200	380	460	1800	640	610	1050
额定频率/Hz							14.6			
最大转矩/(N·m)	5782	12000	6346	6000	1510	650	7200	1625	1424	4360
恒功转速/(r/min)							272～2510			
冷却方式	强迫	强迫	强迫	强迫	强迫	自冷	强迫	自通风	自通风	强迫
功率因数										
生产年份	1990	1993	1994	1996	1998	1997	1998	1999	2000	
备注							A			

表 5-1　异步牵引电动机主要数据（二）

电机型号	JD115	JD116	JD117	JD119	JD120	JD121	JD123	JD128
使用机车	国产地铁	DJ 高速客运电力机车	动力分散型电动车组	2200kW 内燃调车机车	DF8BJ 内燃机车	DJ_2 客运电机车 AC4000 样车	DF8CJ 内燃机车	高速中华之星电动车组
额定功率/kW	210	1225	200	300	600	1224	630	1225
额定电压/V	1050	2105	1170	975	1578	1908	1023	2028
额定电流/A	142	407.8		251	281	445	461	407
额定转矩/(N·m)	1115	8120		5244	6447	9235	6175	7655
额定转速/(r/min)	1800	1441		547	889	1268	976	1528
最大转速/(r/min)	3548	3461	4906	3145	3681	3770	3685	3856
最高电压/V	1404	2105		1170	2028	2180		2184
绝缘等级	200	200		200	200	200	200	200
极数	4	4	4	6	6	4	6	4
悬挂方式	架承			抱轴	抱轴	架承	抱轴	半体悬式
质量/kg	620	2141		1850	1800	2150	1800	2160
额定频率/Hz		48.7			45.3/145	42.8	49.5	51.6
最大转矩/(N·m)	1404	10440		7200	9206	10460	9063	10440
恒功转速/(r/min)		48.7～120			1341～3255	1200～3860	976～2839	1200～3860
功率因数		0.864			0.8315	0.871	0.816	0.893
冷却方式	强迫	强迫		强迫	强迫	强迫 $96m^3/m$ 1800Pa	强迫 $90m^3/m$ 1580Pa	强迫 $96m^3/m$ 1800Pa

（续）

电 机 型 号	JD115	JD116	JD117	JD119	JD120	JD121	JD123	JD128
传动比					79/14 =5.643	90/23 =3.913	79/14 =5.643	90/23 =3.913
效率(%)		96						
生产年份	2000	2000	2000	2001	2001	2001	2002	2002
备注		B				D	E	F

注：1. A 表示用于我国第 1 台交流传动 NJ1 型内燃机车上，牵引电动机的制造过程中采用了很多新技术、新工艺和新材料，如中频感应钎焊、线圈制造、轴承润滑、转子铜合金材料、200 级耐电晕绝缘系统及材料等，它的试制成功标志着我国已具备较强的电机开发及综合制造能力，为后期的设计和试制打下良好的技术基础。

2. B 表示该三相异步牵引电动机同时用于 DJJ1 型高速交流传动电动车组上，它也是我国目前主型的电动车组之一。

3. C 表示该电机采用全封闭结构，特殊的风机设计，电机不受污染，噪声较小。允许逆变器波形中存在一定的谐波。其转速特性曲线一致性好，允许同一辆车中的动轮轮径差达 8mm。

4. D 表示该电机采用无机壳基本结构，定子绕组绝缘采用 200 级耐电晕绝缘系统并用专用的拓扑原理涨形机制造。转子为铜合金笼型，两端端环上套有专用铜合金护环。传动端轴承使用油润滑，两端均采用陶瓷绝缘轴承。

5. E 表示该电机为了改善散热和减轻质量，定子采用无机壳结构，转子也为铜排笼结构，转子铁心两端有防止散齿的压圈。传动端轴承采用油润滑。在规定强迫通风条件下进行持续温升试验，定子绕组的温升在 100K 以下，具有较大的裕度。

6. F 表示该电机加大了定子的漏感，加大了转差，并在轴承与油润滑系统如何适应高转速和高发热方面取得了突破性进展，已满足了 270km/h 高速列车的要求。

表 5-1 异步牵引电动机主要数据（三）

电 机 型 号	YJ85A	YJ87A	YJ92A	YQ-365	MB5120A	JD102A	JD106S	JD108S
使用机车	120km/h 货运电力机车	200km/h 级 CRH5 动车组	四方工厂 200、300km/h 动车组	四方工厂 300km/h 动车组	200km 级 CRH2 动车组 株州工厂	地铁客车 城市轻轨		调车内燃机车
额定功率/kW	1250	568	300	365	300	160	300	165

（续）

电机型号	YJ85A	YJ87A	YJ92A	YQ-365	MB5120A	JD102A	JD106S	JD108S
额定电压/V	2150	1206（相）	2000			550	2000	566.5
额定电流/A	390	211	106	130	106	210	108	241.7
额定转速/(r/min)	1365	1177	4140	4142	4140	2079	3791	273
功率因数	0.91		0.87			0.85	0.85	0.82
额定效率(%)	95		94	94.8	94	92		
最高电压/V		2089.3				660		1170
最高转速/(r/min)		3121	6120			4500（同步）	4739	
极数	4	6	4	4	4	4	4	6
绝缘等级	200	200	200	200	200	H	200	200
恒功转速/(r/min)	1365～2662	～3121						～2510
工作制	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3
通风方式	外通风	外通风	外通风	外通风	外通风	自通风	外通风	外通风
频率/Hz		59.8	140			71		
风量/(m^3/min)	92							
转差率(%)			1.4		1.4			
质量/kg			440			730	380	1810
备注	定子Y接静风压 2800Pa，并联支路 2，定子节距 14	耐温 ±40℃	风量 20m^3/min	耐压 5400V	平行万向齿轮型挠性联轴器方式动力传送	最大电流 322A 最大频率 150Hz	铝合金端盖 最大功率 330kW起动转矩达 1510N·m	最大电压 1170V 定子Y接

四、谐波的产生与抑制措施

随着电子技术的飞速发展，非线性负荷在各行各业的广泛使用，电力网的谐波污染问题也越来越不容忽视。由于谐波的不良作用恶化了电能质量，增加附加损耗，降低电网可靠性，影响供用电设备的正常工作，甚至损害设备，造成电气故障。因此，必须加强设备管理，提高对谐波危害的认识，采取防护措施，对电网谐波加以治理。

谐波的产生主要由大容量电力设备和用电整流或换流设备以及其它非线性负荷造成的。

当电力系统向非线性负荷供电时，负荷吸收的电流与施加的电压波形不同，形成畸变电流。电力系统存在电源阻抗，使电压也发生畸变，从而对配电设施和所有负荷产生影响。该畸变电流包含了基波和一系列频率为基波频率的整倍数的谐波电流分量。

在电网中，向电网注入谐波电流的主要有三大谐波源。

随着硅整流技术的发展和不断完善，硅整流装置以及双向晶闸管可控开关设备等，在化工、冶金、矿山等工矿企业及家用电器中得到日益广泛的应用。大到直流输电用的整流和逆变装置，小到电视机电源、电池充电器，它们按同一规律将谐波电流注入电网。据有关统计表明：在一天 24h 内电网谐波量随电视收视率的增减同步变化，晚上 18:00 ~22:00，收视率超过 60% 的高峰，配电网的谐波电压高达 3‰；而在凌晨 0:00 ~ 6:00 的收视低峰，配电网的谐波电压也很小。可见，含半导体的谐波源是电力系统中的主要谐波源。

变压器、电抗器、各种旋转电机都含有铁心，铁心具有磁饱和性，铁心饱和后是非线性的。变压器铁心常工作在磁通密度较高的区段，磁化曲线更陡，更易产生谐波。旋转电机也由于磁极不平衡、绕组不平衡，定、转子开槽及铁心饱和等原因产生一些谐波，但较小。

电弧炉是现代炼钢的重要手段，在炼钢工业中所占比重越来越大。由于电弧延时发弧，电弧电阻的非线性和电弧游动等因素，使电弧电流畸变，特别在初炼期注入电网的奇偶次谐波很大，且持续时间长，对电网的影响十分严重。

在机车的交流传动中，由逆变器供电时产生的高次谐波，使受电的异步牵引电动机产生高的附加铜损耗及铁损耗，高的绝缘介电损耗和电晕、高的附加脉动转矩和电磁噪声。在动车组的辅助用电设备中，交流用电设备主要包括主变流器通风机、牵引电动机通风机、牵引变压器通风机、空调装置（空调制冷压缩机、冷凝器风扇、蒸发器风扇）、空气制动压缩机、电加热器、方便插座、电动雨刮器、挡风玻璃除霜器、客室照明系统及控制系统等电力设备。装设谐波抑制并且兼有无动补偿功能的无源滤波器是一种常用的谐波抑制方法。无源滤波器结构简单，运行维护经验成熟，但由于该装置与系统的运行参数密切相关，而带来谐振、过载以及滤波效果变差等缺陷。因此可以考虑在电源电压侧等效串入一个具有一定电感量的谐波阻抗，阻抗越大，滤波效果会越好。

作为电力机车辅助机组驱动装置的三相异步电动机，其运行状况直接关系到电力机车能否可靠正常工作。实际上，三相异步电动机常因多方面的原因引起过热，轻者降低机车牵引力，带来较大的检修工作量，重者使电动机损坏，直接影响铁路运输。各机务

段辅机烧损现象频繁，因此，对过热问题的原因进行分析并制订针对性的防止措施有很现实的意义。电力机车上把电网来的单相交流电变为辅助机组所需的三相交流电，是依靠劈相机来实现的。劈相机的三相输出电压中两相为电动相，一相为发电相，输出电压不对称。三相电压的幅值波动范围较大，这样会降低电动机的功率因数和效率，使电动机损耗增大、温升高。三相电压的不对称引起三相电流的不均衡。对韶山4改进型机车牵引变压器风机电动机实测，三相电流中最大值和最小值相差10~12A，其结果会使某相电动机绕组过热而烧损。另外三相电压的不平衡，还会导致各相中相序电流的相位角的不对称，从而使该相的合成电流超过额定电流达30%以上，产生过热的危险。现在有些机务段为了保证劈相机在负载范围内三相电压的对称性，采用了在发电相绕组和电动相绕组之间并联电容器的措施。

随着电力电子技术的飞速发展，特别在供电网络中非线性负荷系统如变频调速装置、电机软起动装置、磁饱和稳压装置、大型整流装置、通信电子设备、医疗电子设备、大型超市灯具照明、电弧焊机组等用电设备日趋增多，这些设备在电路中运行，会导致电压波形畸变，产生高次谐波，污染电网系统，降低功率因数，增大波纹系数，其危害是非常严重的，特别在无功补偿电路中电容器会对高次谐波进行放大，还会使合闸瞬间存在涌流，电路严重过载，电容器被击穿，造成短路危及设备运行和人身安全，甚至酿成爆炸引起火灾。

常州志宏电器公司（电器开关总厂）研制的EXB-Q系列谐波抑制器，XLB-Q系列消谐滤波器，由采用高新技术高导磁材料组成，在无功补偿电路中应用能有效地抑制涌流，对高次谐波形成低阻抗通路。对谐波具有吸收泄放作用，这样既满足无功补偿，改善功率因数，又能消除高次谐波的影响，且能节约电能消耗20%以上。它避免了过去采用一般铁心式电感组成的电抗器对5次以上谐波，磁路容易饱和，起不到抑制及滤波作用的缺点。本产品性能稳定可靠，抑制3~9次谐波效果更为显著。EXB-Q系列谐波抑制器外形如图5-4所示。

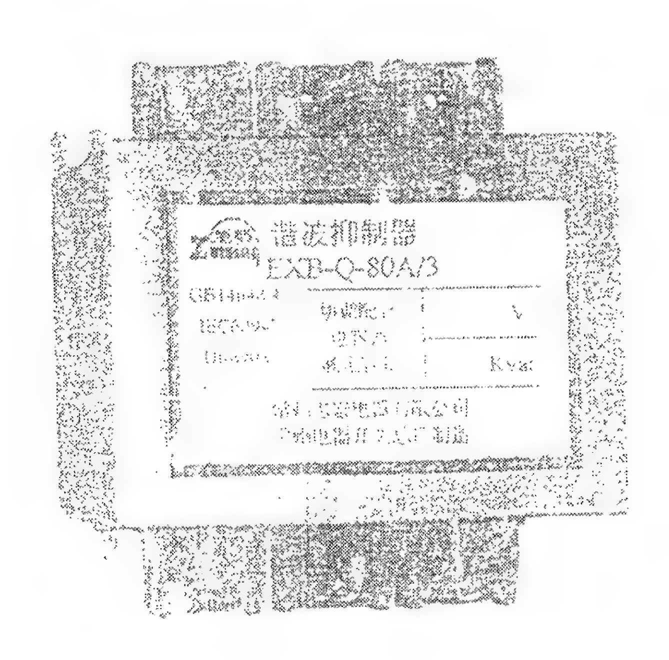


图5-4　EXB-Q系列谐波抑制器外形



图 5-5 为接入谐波抑制器前后电压、电流波形。

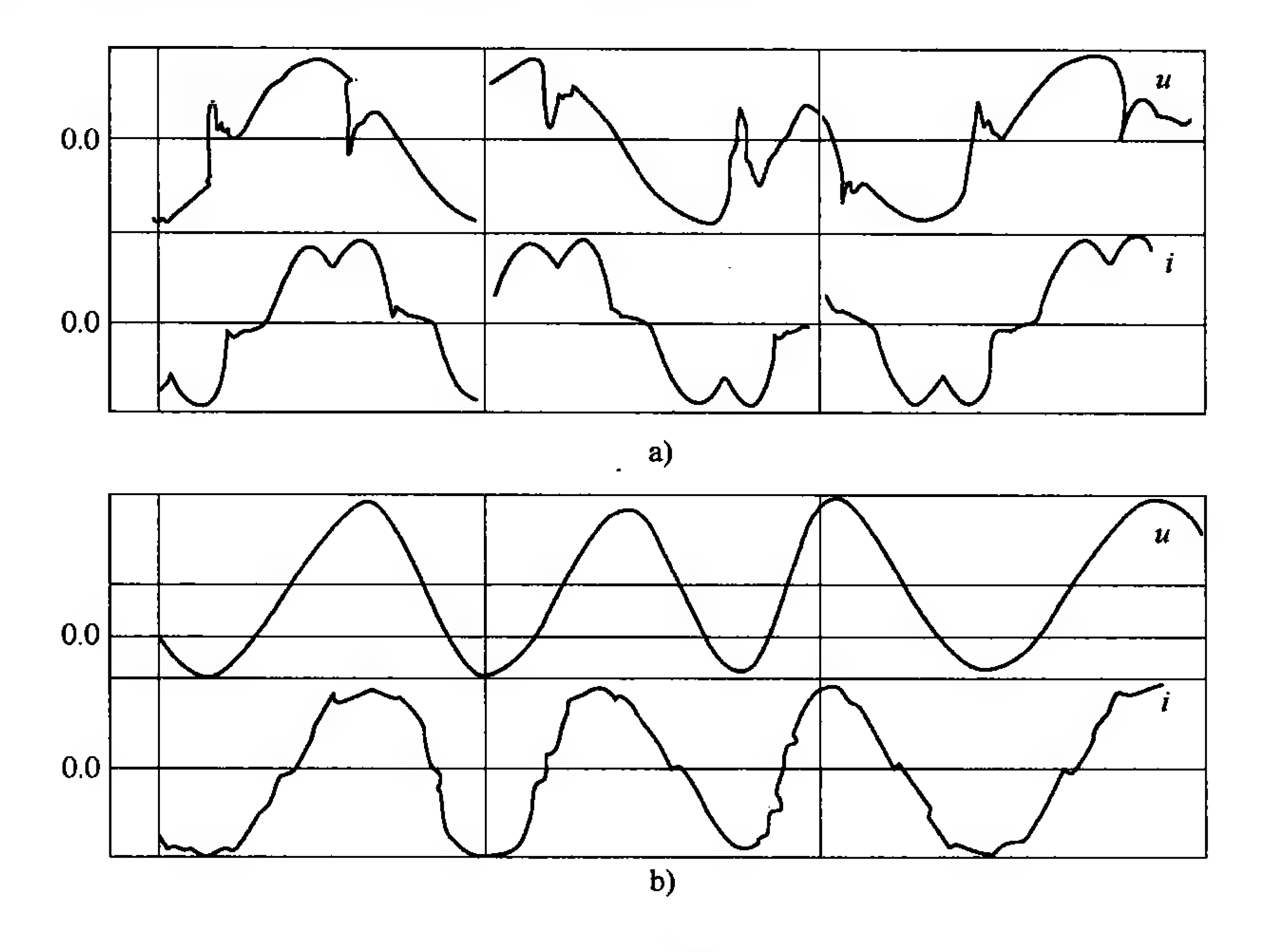


图 5-5 电能质量效果图

a）未接入谐波抑制器或消谐滤波器前电压、电流波形

b）接入谐波抑制器或消谐滤波器后电压、电流波形

由此可见，在接入谐波抑制器或消谐滤波器后电能质量明显提高，电压、电流的正弦性大大改善和提高，对 5 次谐波电流削弱十分明显，其它各次如 7 次、11 次、13 次谐波电流也有所削弱。

第六章　牵引电动机的试验

一、牵引电动机的试验项目及要求

牵引电动机的型式试验项目见表6-1。表6-1中省略了接上和断开电源电压试验，它虽属于型式试验项目，但和修理牵引电动机关系不大。表6-1中超速、起动、换向、绝缘电阻、匝间和对地绝缘介电强度试验等项目，均应在温升（发热）试验后热态下进行，以便能较充分地发现产品质量隐患和薄弱环节。例如：对于换向器成型、换向片与电枢绕组导体的焊接、线圈匝间绝缘、绝缘处理、导线连接、轴承及部分机械加工、尺寸配合等存在的问题，在热态下一般均可较充分地暴露；对于电动机的换向火花，也能得到较严格的考核。

表6-1　牵引电动机的型式试验项目

序号	项　　目	说　　明
1①	外观及外形安装尺寸检查	外形及安装尺寸应符合安装图的规定
2①	绕组在实际冷态下直流电阻的测定	目的是发现绕组匝数是否正确，有无匝间短路现象，焊接及连接等是否存在质量问题。电阻值的允差为规定值的±3%
3	管道通风式电动机换向器室内空气静压力头与通风量关系的测定	试验通风设计的准确性，并为以后确定风量提供风量风压的换算曲线
4①	温升试验	核对电动机各绕组和换向器的小时制和连续制定额下的温升，是否符合有关规定（检查试验只做1h温升试验）
5①	超速试验	应符合有关要求
6	起动试验	（1）对牵引电动机，在热态下把电枢堵住，通入最大电流维持30s，共进行4次。每次试验后电枢应顺同一方向转动1/4极距 （2）对辅助电动机，应在热态下，并带有运行时的全套起动和保护装置及相当于起动转矩的负载，承受最高和最低工作电压各5次的起动试验，每次试验间隔2min 电动机能承受试验而无任何机械损坏及飞弧闪络等
7①	换向试验	（1）电动机在额定及其以下电流（电动机到相应于最大工作转速的电流）的所有情况，其换向火花不应超过1½级 （2）应符合有关要求
8	有换向极电动机的无火花换向区的测定	检查电动机换向设计计算的正确性，确定换向磁势强弱，以便调整气隙或绕组匝数

（续）

序号	项　目	说　明
9[①]	电动机特性曲线试验	测定电动机的有关数据，修正计算后绘成曲线，作为应用的依据 对电动机，绘制转速、转矩、效率、空载等特性曲线；对发电机，绘制调整、效率、空载、外特性等特性曲线
10[①]	电枢绕组过电压强度试验	以1.3倍额定电压运行3min（可用作空载发电机运行），匝间绝缘不应击穿
11[①]	绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定	在热态下每伏绝缘电压的绝缘电阻应不低于1000Ω、250V以下的电动机的绝缘电阻不得低于0.25MΩ
12[①]	绕组对机壳及绕组相互间绝缘介电强度试验	应符合有关要求
13	重量测定	应符合技术条件

① 检查试验项目。

对牵引电动机修理后的试验项目，应按表6-1中检查试验项目进行。对修理后牵引电动机各项试验的结果和技术要求，原则上要求和新制电动机出厂要求一致，特别是对铁道干线用直流和脉流牵引电动机，以及对牵引电动机的三大关键性能（温升、换向和转速）特性更是不得随意降低要求。对于工矿直流牵引电动机及蓄电池车辆用直流电动机，如果修理时没有换新的线圈等，耐压试验可适当降低至原标准值的75%～80%，另外在取得客户同意并在修理后保证正常使用的前提下，可对绕组温升限值、各工况下的换向火花等级、额定考核点的转速值及正、反向转速差值的要求做适当调整。

二、直流（脉流）牵引电动机检查试验原理

现在几乎所有的直流和脉流牵引电动机都采用了带升压发电机的串并联回馈法线路进行试验，线路原理如图6-1所示。

当升压机没有励磁，则 $U_S=0$，这时M和 G_1 都在线路机电网电压 U_1 下空载运行，M和 G_1 支路内仅取用较小的空载电流，由于 W_3 和 W_4 同时串接在被试电动机M的支路内，两台电机同轴机械耦合在一起，转速也相等，所以两台电机的电动势也相等，且小于 U_1，分别为 E_1 和 E_2。

当将升压发电机给予励磁，升压机产生的电动势为 U_S，当 $U_S+E_2>U_1$ 时，则 U_S 在M及 G_1 回路内输送电流，则被试电动机支路内的电流 I_{M1} 为升压机支路电流 I_G 和线路机电流 I_1 之和，因此只需调节 U_S 到足够大，就可使被试电动机M在所需的负载电流下运行。所以要调节被试电动机的负载，只要改变升压机 G_2 的励磁即可。从电压的角度分析，升压机是起补偿M和 G_1 的绕组电压降的作用，升压发电机可选用一台低电压、大电流的直流发电机或整流装置，其电压取0.2倍M的电压即可，而电流应足够大，适应M电动机2倍过电流试验的需要。

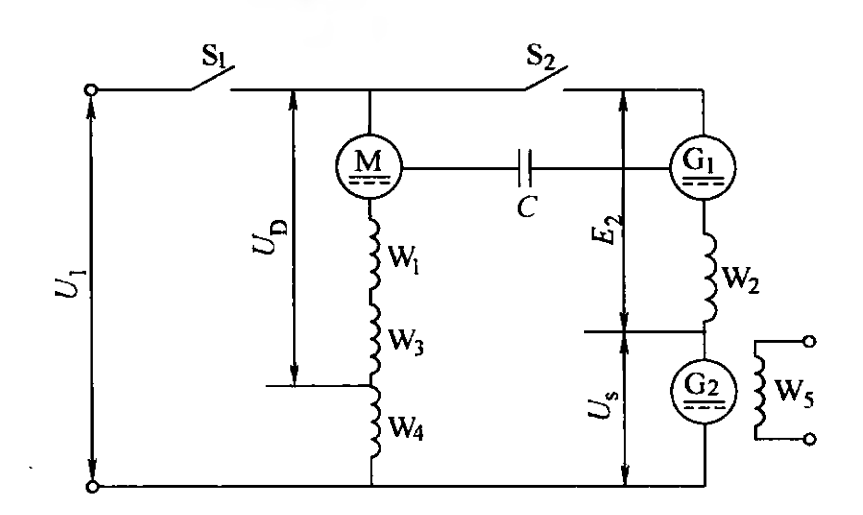


图 6-1　带升压发电机的串并联回馈法试验原理

M—被试的直流或脉流牵引电动机

G_1—与 M 同型号、规格的直流脉流牵引电动机，在回馈试验时以发电机状态运行

G_2—升压发电机

W_1、W_2—M 和 G_1 电动机的换向极绕组

W_3、W_4—M 和 G_1 电动机的串励绕组

W_5—G_2 升压发电机的他励绕组

U_1—线路发电动机的电压

C—M 和 G_1 的机械联轴器

U_D—被试牵引电动机端电压

E_2—G_1 发电机端电压

U_S—升压发电机端电压

S_1、S_2—闸刀或接触器开关

在进行带升压发电机的串并联回馈法试验时，M 是 G_1 的机械原动力，带动 M 旋转。G_1 发出电动势后作为发电机，供给电能给 M，所以被试电动机 M 和陪试发电机 G_1 是互为动力又互为负载，整个试验的能耗仅为 M 和 G_1 的磁损耗、机械损耗及内电阻的铜耗，仅为直接负载法的 20% 左右，因此本线路的试验方法既节约了电能，而且调节起来既方便又稳定。

本试验线路中的线路发电机是一台高电压、小电流的机组，在系列化的电机中很难找到，为此一些中小牵引电动机制造厂，通常将原高电压的串励电动机改制成他励直流发电机使用。可通过提高其拖动转速、增加励磁等方法实现，实际使用效果也相当成熟、可靠。

铁道干线用的中大型直流或脉流牵引电动机的反馈负载试验时，均采用晶闸管供电装置代替旋转机组，并采取了一系列的措施，减小脉动电流的分量，使被试电动机在各种负载下尽量接近实际直流状态。晶闸管供电的反馈线路的过载能力较差，通过采取了一系列的过压、过载和短路保护措施，已完全能适应各种大容量牵引电动机试验的需要。

对于容量较小的直（脉）流牵引电动机或尚不具备回馈试验设备的牵引电动机修理场所，可用直接负载法进行负载试验，以验证电动机的修理质量（见图6-2）。

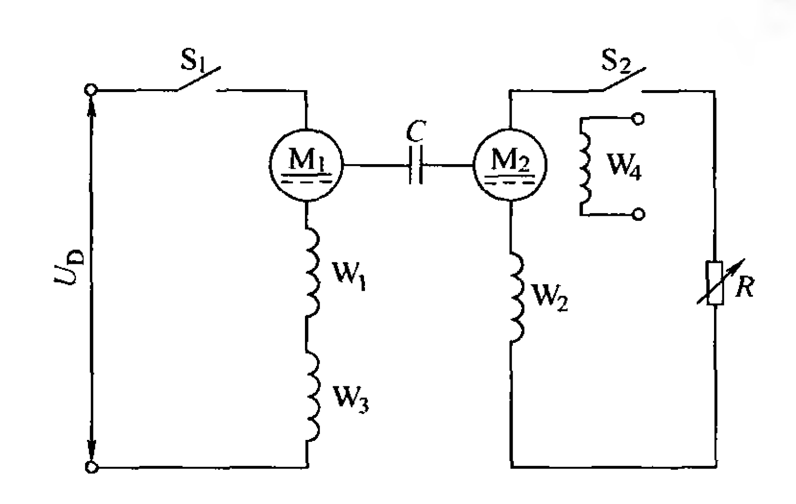


图6-2 直接负载法试验线路图

M_2—被试直（脉）流牵引电动机，试验时以发电机状态运行。

M_1—拖动电动机，一般用调速方便的直流电动机

W_1、W_2—二台电动机的换向极绕组

W_3—电动机串励绕组

W_4—被试电动机的他励绕组

通过调节在发电机状态下运行的 M_2 的励磁 F_2 或调节负载电阻 R，来达到改变试验电动机 M_2 的负载电流的目的。

直接负载法的优点是调节或测定试验参数时十分方便和稳定，缺点是大量的电能被消耗在电阻中造成极大的浪费。

M_1 可选用与 M_2 相同，也可用功率和电流略大于 M_2 的电机。或用调速方便的异步电动机。R 的容量和电流允许值，应足够，以保证试验项目的要求。

三、蓄电池车辆用直流电动机的试验

被试蓄电池直流电动机、传感器和电涡流测功机共轴等高安装。盘式电涡流测功机适用于高转速、大功率动力机械的转矩和功率测量，尤其适用于发动机、高速伺服电机、内燃机高速大扭矩电机的寿命及温升的仿真寿命及温升试验。

根据目前电动叉车电动机的功率及扭矩的范围，选用50N · m和250N · m测功机各一套，即可满足当前所有蓄电池直流电动机的测试需要。

电涡流测功机的规格如表6-2所示。

表6-2 电涡流测功机的规格

型号	额定吸收功率 /kW	额定扭矩 /(N · m)	最大转速 /(r/min)	额定扭矩转速范围 /(r/min)	转动惯量 /(kg · m^2)
DW10	10	50	13000	2000～2800	0.01
DW63	63	250	9000	2000～2800	0.06

四、中小型工矿用牵引电动机的试验线路

1. 负载试验台的作用就是对牵引电动机进行通电负载试验，以确定其额定参数（如电压、电流、转速、功率、转矩等）是否符合设计要求。测定牵引电动机的其它一些特殊关键性能，如换向火花、绕组温升、转速差值等是否符合技术标准所规定的容差限值以内。通过负载试验，对电动机在正常工作条件下的使用可靠性，特别是绝缘、发热、耐电压等性能进行考核，以确保电动机装到机车上使用时的安全可靠性。目前不少工矿牵引电动机的修造单位，在零部件加工和修理的过程中，工艺上存在很多不足和隐患，检测手段缺乏，加工粗糙，电动机组装后仅进行空载试验，很多缺陷和隐患不可能被发现，一旦装上机车带负荷运行后，各种电气及机械故障不断发生，使牵引电动机不能正常使用。这种状况只有通过负载试验才能被发现。

2. 图 6-3 为工矿直流牵引电动机负载试验主电路原理图。

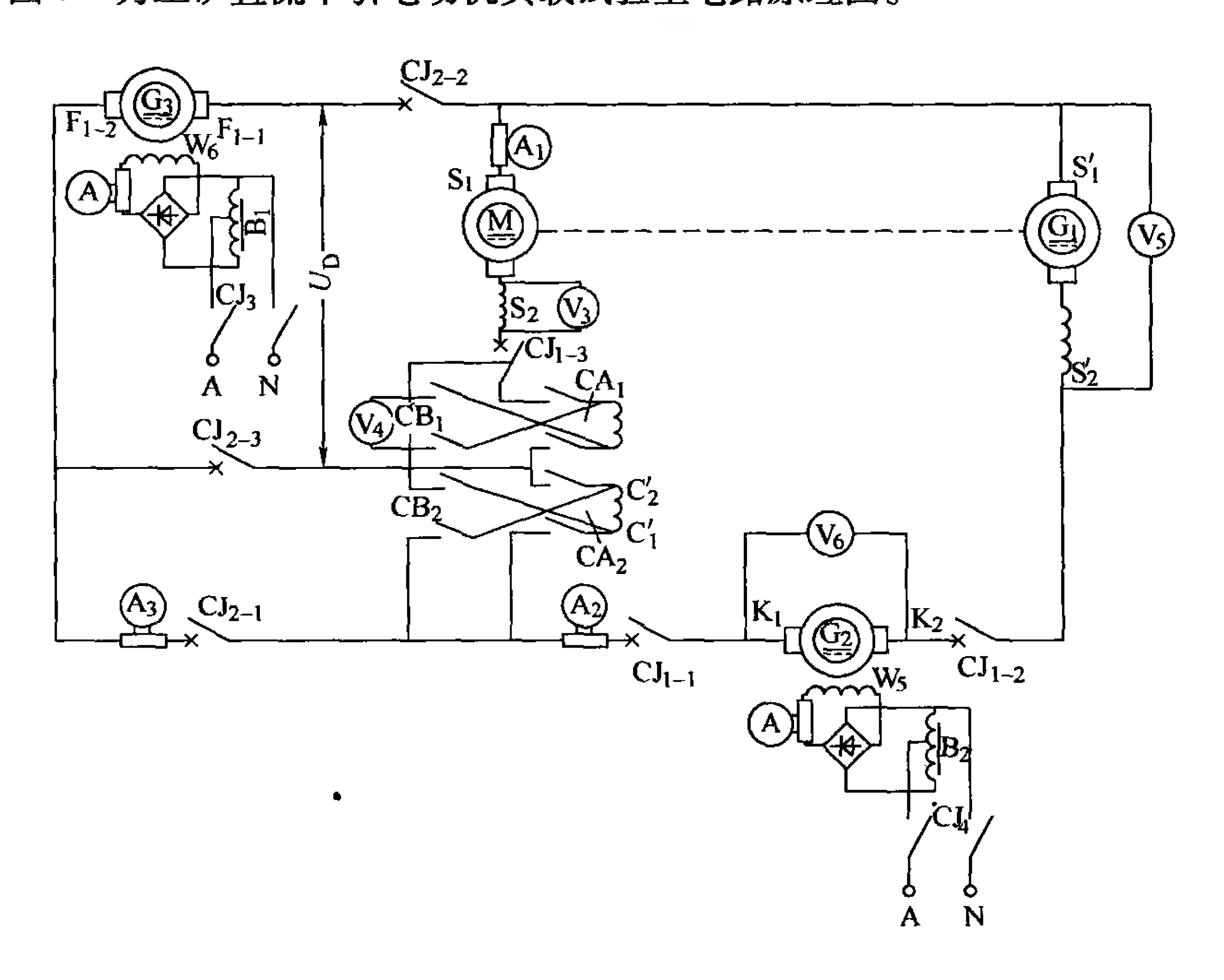


图 6-3　工矿直流牵引电动机负载试验主电路

被试电动机的适用范围为最高电压在 750V 以下，最大使用电流不超过 350A，除各种牵引电动机的负载试验外，同时还可进行转速、换向、绕组温升、超速、匝间绝缘、起动试验等项目的测试。只需配上不同的试验台架，对现有的大部分的牵引电动机，例如 ZQ-12A、ZQ-21、ZQ-24、ZQ-18、ZQ-30、ZQ-7、ZQ-52 等均可以进行以上项目的试验。

试验设备由三机组电源、三只电气柜（交流屏、直流屏和操作试验台）及试验座架三大部分组成，电气部分用 $50mm^2$ 电缆连接（见图 6-4）。

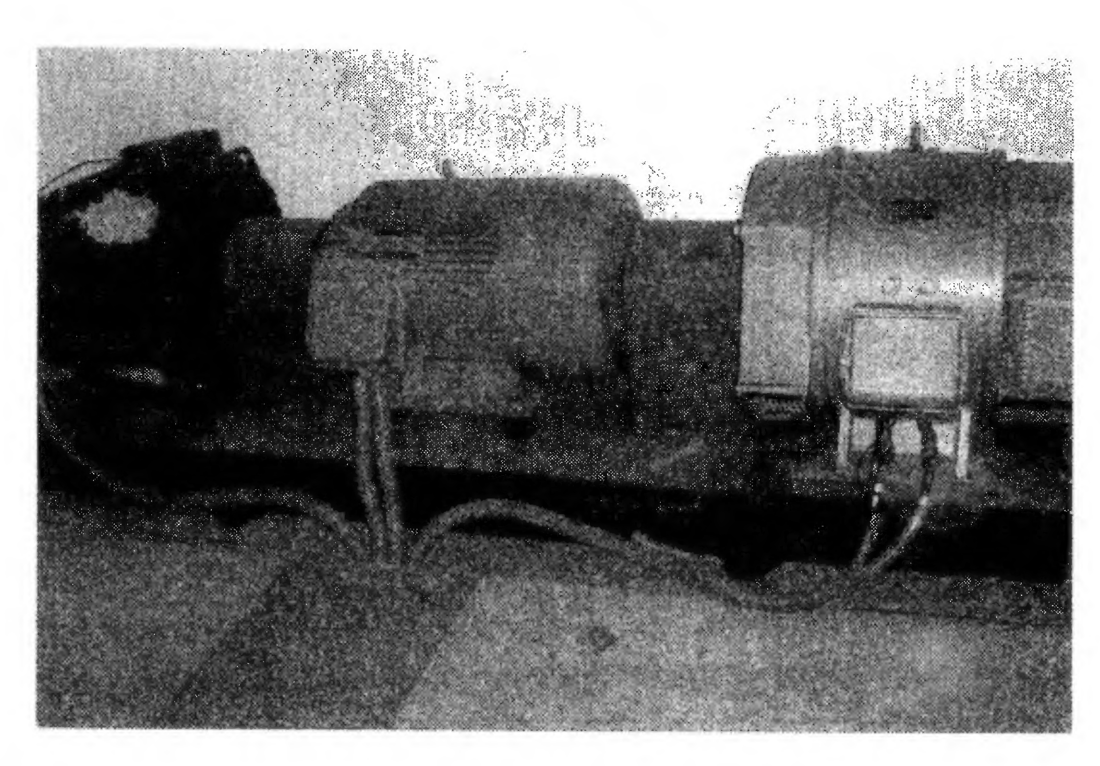


图6-4 试验用三机组的电源机组

电源三机组连接形式为 G_1-M-G_2。

电源三机组的中间一台为 Y250M-4 型三相异步电动机，55kW、380V、50Hz；同步转速1500r/min，防护等级 IP44，安装形式为 B3，即机座带底脚，端盖上无凸缘的结构形式，满载电流为103A，效率92.6%，功率因数0.88，质量427kg，出线盒内有六个接头，以便使用Y-△降压起动器之用。

右面一台 Z2-91 直流发电机，作为试验线路中升压发电机之用。额定功率40kW，电压115V，额定电流350A，额定转速1500r/min，绝缘等级B，连续工作制，励磁方式为他励，他励电压220V，他励电流3.6A。

左面一台 ZQ-24 直流串励牵引电动机改为他励直流发电机，在试验设备中作为线路发电机之用。其端电压可达750V以上，以满足额定电压550V的被试牵引电动机1.3倍过电压试验的要求。励磁方式也为他励120V，当调节他励励磁时，可获得平滑方便的端电压。

此三台电机共轴等高安装在一块长2.5m的平板上，试验机组与交流柜、直流拒、操作台及被试电机间的连接用 $50mm^2$ 的电缆（见图6-5）。

应该说明，试验电源三机组型号规格的选择是由被试牵引电动机的功率、电压等决定的，它有一定的适用范围，不可能只用一套电源机组就可以将所有规格型号的牵引电动机的试验都得到满足，电源机组与被试牵引电动机不匹配时，都会带来项目试验时的困难。

3. 试验设备系统原理框图（见图6-6）。

交流电源屏由外界输入三相交流电后，分别向三机组中的三相异步电动机及直流控制屏供电。电源三机组中两台直流发电机发出的直流电，经操作台的调制后，供给被试的牵引电动机。它的他励电源则由操作台上的两台整流直流电源供给。

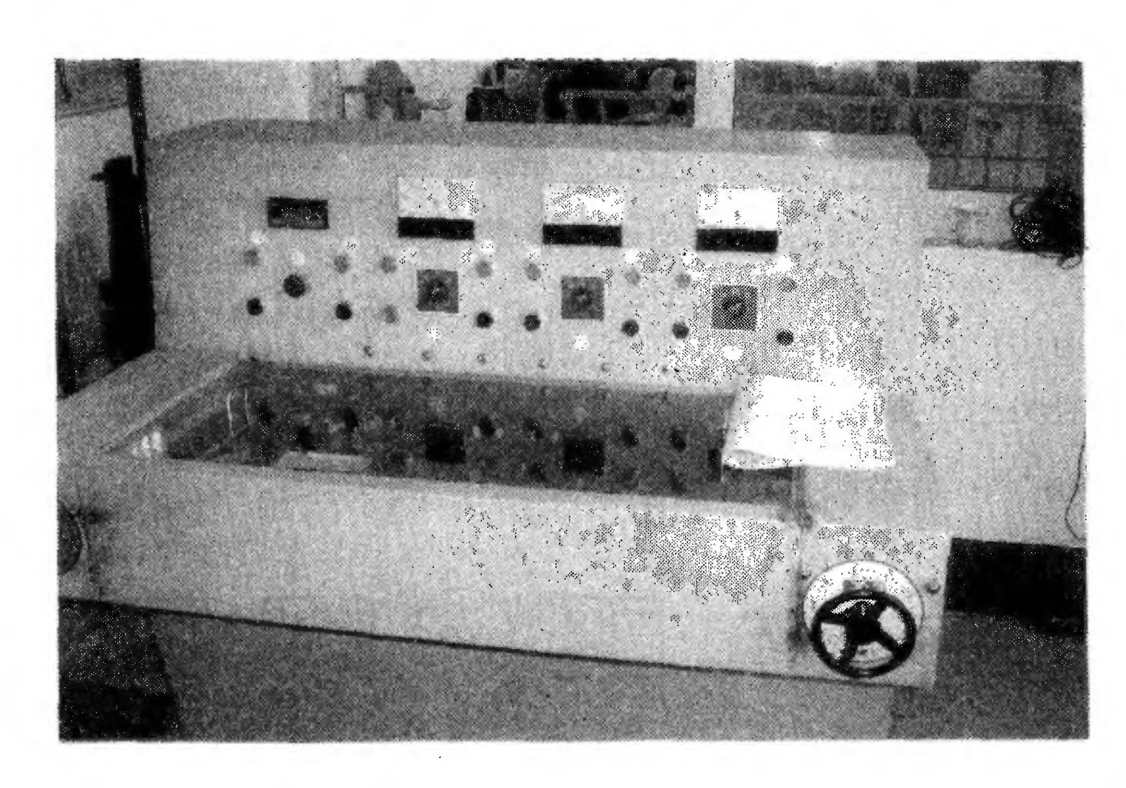


图 6-5 工矿牵引电动机试验台操作柜

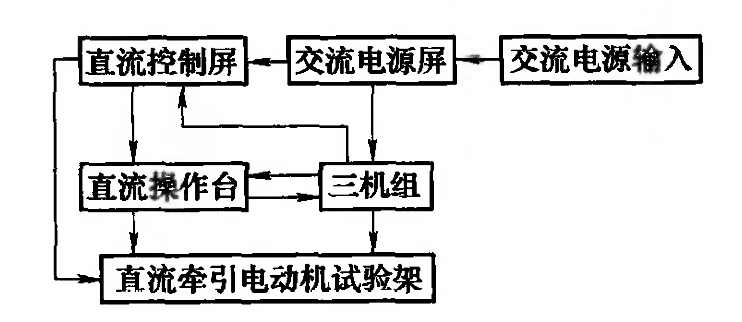


图 6-6 试验设备系统原理框图

负载试验设备中，省去了 XJ01 型自耦减压起动箱，改用了体积更小、价格低廉、技术先进、使用可靠的交流接触器Y-△起动器，以满足电源机组中三相异步电动机降压起动用。

4. 负载试验时电流及转速的调节

牵引电动机试验时，负载电流由电流表 A1 读取，只需调节他励绕组 W_5 的励磁电压即可（见图 6-3）。被试电动机的端电压 U_D 只需调节他励绕组 W_6 的励磁电压即可。此二者均通过自耦调压器再通过桥式整流而获得。实践证明被试电动机端电压 U_D 及升压发电机 G_2 的端电压的调节都十分平滑而稳定，从而可以十分方便地调节被试直流牵引电动机的端电压、负载电流及转速。

五、牵引电动机电刷中性位置的测定

各种大、中、小型的牵引电动机，在修理后不论其刷架固定方式如何，均应首先进行电刷的对中试验，因为直流电机的电刷位置，必须处在磁场中性线上，否则会引起火花加大，正、反向转速偏差超标，电动机过热和效率下降等多项不利影响。

测定电刷是否处于中性线上的试验方法有好几种，首选是感应法：

将电动机电枢静止，励磁绕组通过开关 S 接在直流电源上，将毫伏表（采用中心零位的双向型表）接在相邻的两极电刷上。使 S 断续接通电源，毫伏表的指针将左右

偏转。移动电刷架位置，直到毫伏表不再向两边偏转为止。此时电刷位置即为中性线位置。试验接线如图 6-7 所示。

用来供给励磁绕组的直流电源，其电压只要使励磁绕组的电流为额定转速空载励磁电流的5%～10%即可。一般可用3～6V 干电池。

无锡太湖电表厂研制成的 JBZ-5 型直流电机电刷对中仪就是将上述测试过程集于仪表化，表头指示值有低、中、高三挡，工作原理框图如图 6-8 所示。

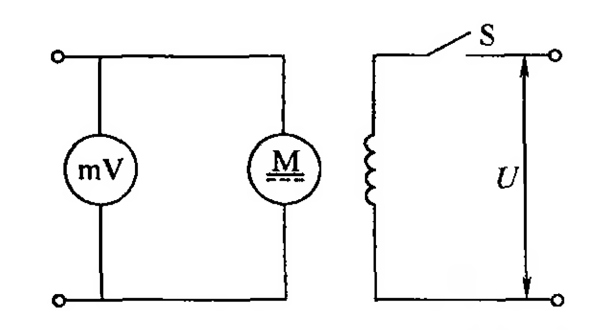


图 6-7　感应法测定中性线位置接线

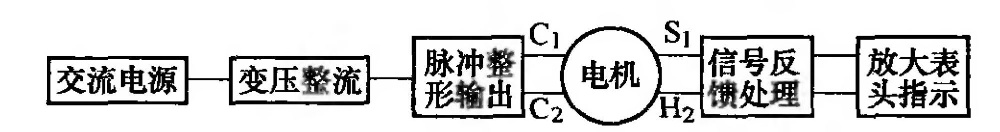


图 6-8　JBZ-5 直流电机电刷对中仪原理框图

使用时把红色连线大夹子接到电机励磁绕组 $C_1 \sim C_2$ 上，黑色连线大夹子接到刷架 $S_1 \sim H_2$ 上，接通电源，脉冲指示闪烁，根据需要，选择低、中、高挡位，调整刷架位置，使仪表指针毫伏读数摆动至最小位置，这样就可确定电刷安装的中性位置。

测定电刷是否处于中性线上，还可使用正反转发电机法。试验时，电机励磁绕组他励，在保持转速、励磁电流及负载（接近额定值）不变的情况下，逐步移动刷架位置，在每一个不同位置上测量电机在正转及反转时的电枢电压，直到两个电压数值最接近时为止，此时即可认为电刷位于中性线上。

六、牵引电动机的起动试验和通、断电源试验

直流牵引电动机在实际使用中，经常是在带很大负载或在上坡道上，在电动机尚未开始转动时，外加电压已经施加上，此时的串励绕组中没有电流，磁场尚未建立，此时正是考验电动机耐受起动的性能。

起动性能试验常在电动机试验台位上进行，电动机不励磁，迅速合上开关使端电压接上，维持 15s，在间隔 2min 后，再次加上端电压，连续进行 5 次，每次起动，允许将电枢旋转 1/4 极距，但必须顺着电枢同一方向转动。允许试验间隔时间加长为 5min。若电动机有额定高电压，则该项试验还需在高电压下进行，试验后应立即进行检查，换向器上可以显示出局部的变色，但任何部件都不得出现异常的温升，换向器上不应有闪络和永久性变形。

对于由接触网供电的直流牵引电动机或通过变压器或静止变流器由线路供电的电动机所驱动的机车，在运行中外加电压的频繁通断是经常发生的，这种瞬态发生的电压和电流的突变，极易对牵引电动机造成机械损伤和飞弧，也可能使电动机换向器发生永久性的损伤，为此必须使牵引电动机满足通断或电压突变性能的要求。

将电动机运转在额定电流时，把电源电压断开约 1s 后再重新接上。每隔 3～5min 通断一次，共重复进行 6 次。若牵引电动机的励磁磁场是可调的，则应在最大磁场级和

最深削弱磁场级下各进行3次。试验中，牵引电动机的转速应尽可能保持不变。在重新合上时的瞬间电压应至少等于最高电压，而在接上后的瞬间，电压应不低于0.9倍额定电压，这一要求最好借助瞬态纪录仪来完成。此外，为使试验顺利进行，线路中应接入一个高速开关来使电压能自动地高速接上和断开。为使供电电压能突变，可通过高速开关串接适当的可调电阻来实现。如果牵引电动机带有自动保护装置，则应带此保护装置进行试验，并以此装置的动作时间作为上述试验的断开时间。

七、牵引电动机换向器热态径向跳动量的测定

牵引电动机运行时产生火花，由机械方面的原因而产生也是很常见的。换向器本身是由很多个零件组合而成的，而且是在热状态下高速运行着，因此它不可能是一块刚体没有一点松动和变形，换向器的圆柱形工作面也不可能是一个绝对圆度的圆柱体，换向片、云母片的凸出和凹陷，换向器偏心，换向器工作表面变形后呈椭圆形、腰鼓形或锥体形等情况经常发生。即使换向器的制作工艺再好，换向器的烘焙、热压、冷压、动压成型和超速试验做得再完善，都不可避免存在片间云母排收缩变形和高速运转的换向器工作表面弹性变形等问题，因此无论是新制还是维护修理牵引电动机时，都应该十分关注换向器表面的径向跳动量。该项性能的检测应在热状态下进行，其限值按表6-3考核。

表6-3　换向器径向跳动限值　（mm）

换向器直径	最大径向圆跳动量
≤400	0.03
400～800	0.04
>800及所有单轴承的悬臂电机	0.06